

Chapitre I

Phénomènes liés aux courant et à la tension

1. Les surintensités

Les causes et les valeurs des surintensités sont multiples. On distingue habituellement dans les surintensités, les surcharges et les courts-circuits.

1.1. La surcharge

Le courant de surcharge est en général une faible surintensité se produisant dans un circuit électrique sain. L'exemple type est le circuit alimentant des prises de courant sur lesquelles on a raccordé un trop grand nombre d'appareil.

1.1.1. Caractéristiques

Le terme "surcharge" est utilisé pour un courant excessif circulant dans un circuit en bon état électriquement. Les surcharges sont en général inférieures à 10 fois le courant nominal du circuit.

Les surcharges de courant ne sont pas beaucoup plus élevées que le courant maximum permanent d'une installation, mais si elles se maintiennent trop longtemps elles peuvent faire des dégâts. Les dégâts, plus particulièrement aux matières isolantes en contact avec les conducteurs de courant, sont la conséquence de l'effet thermique du courant. La durée de cet effet thermique est relativement longue (de quelques secondes à quelques heures), et la surcharge peut donc être caractérisée par la valeur efficace du courant. La protection contre une surcharge est réalisée par un dispositif de protection capable de diminuer la durée de la surcharge.

1.1.2. Causes habituelles des surcharges

Manque de maintenance	<i>Accumulation de poussières, salissures, particules étrangères</i>
Vieillessement des équipements	<i>Pièces usées, lubrification insuffisante</i>

Problème thermique	<i>Isolement dégradé, composants défaillants</i>
Mauvaise utilisation	<i>Capacité insuffisante, usage excessif</i>
Qualité de l'énergie	<i>Surtensions et sous tensions transitoires</i>
Défauts de terre de faible amplitude	<i>Particules métalliques, dégâts des eaux</i>

1.2. Le court-circuit

Le courant de court-circuit est en général une forte intensité produite par un défaut de résistance négligeable entre des points présentant une différence de potentiel en service normal.

1.2.1. Caractéristiques

Le court circuit est souvent dû à une défaillance électrique importante comme la rupture d'un isolant, la chute d'un objet métallique sur des barres ou la défaillance d'un semi conducteur. Il en résulte un courant de défaut dont la valeur efficace est très élevée (typiquement supérieure à 10 fois la valeur du courant nominal de l'installation).

L'effet thermique est tellement rapide que les dégâts dans l'installation se produisent en quelques millisecondes. Cet effet thermique extrêmement rapide ne peut pas être caractérisé par la valeur efficace du courant présumé de défaut comme c'est le cas dans les surcharges, car il dépend de la forme de l'onde de courant. Dans ce cas la protection doit limiter l'énergie associée au défaut; cette énergie est liée à la grandeur suivante I^2t . Cette grandeur est une mesure de l'énergie thermique fournie à chaque ohm du circuit par le courant de court circuit pendant le temps t .

Cependant la protection contre les court-circuits impose souvent une condition supplémentaire qui est la limitation du courant crête autorisé dans l'installation. En effet les forces électromagnétiques sont proportionnelles au carré de la valeur instantanée du courant et peuvent produire des dégâts mécaniques aux équipements si les courants de court circuit ne sont pas « limités » très rapidement. Les contacts de sectionneurs, contacteurs et même de disjoncteurs peuvent se souder si le courant crête passant dans le circuit de défaut n'est pas limité à une valeur suffisamment basse.

Si la fusion de certains conducteurs et de certaines parties de composants se produit, un arc entre les particules fondues peut s'amorcer, déclencher des incendies et créer des situations dangereuses pour le personnel. Une installation électrique peut même être complètement détruite.

Les fusibles ultra-rapides pour la protection des semi conducteurs fournissent une excellente protection en cas de court circuit.

1.2.2. Causes habituelles des courts-circuits

Elément étranger	<i>Boulons, tournevis, autres objets conducteurs</i>
Défaillances de composants	<i>Claquage de semi conducteur</i>
Surtensions	<i>Foudre, commutations, interruptions</i>
Défauts de terre de grande amplitude	<i>Court-circuit à la terre</i>
Influences externes	<i>Inondations, incendies, vibrations</i>

2. Les surtensions

En électrocinétique, la surtension désigne le fait pour un élément particulier d'un dipôle électrique d'avoir à ses bornes une tension supérieure à celle aux bornes du dipôle complet. C'est le cas par exemple de la tension aux bornes d'un condensateur dans un dipôle RLC série en résonance.

D'autre part, un réseau électrique possède en générale une tension normale : on parle aussi de tension nominale. En basse tension, cette tension nominale peut être par exemple de **230V** entre phase et neutre. En moyenne tension, celle-ci est normalisée à **20kV** (entre phase) et **11.5kV** (entre phase et terre). Le réseau peut se trouver accidentellement porté à une tension supérieure de sa tension nominale : on parle alors de surtension. Les surtensions sont une des causes possibles de défaillances d'équipements électriques ou électroniques, bien que ceux-ci soient de mieux en mieux protégés contre ce type d'incident.

Les différents types de surtension dans les réseaux électriques sont :

- Surtension permanente : d'une durée de plusieurs heures (*l'effet Ferranti* peut être une cause de surtension permanente).
- Surtension temporaire : d'une durée d'une ou de plusieurs secondes. Un court-circuit d'une des phases d'un réseau triphasé à la terre (défaut d'isolement d'un câble HT par exemple) peut produire une surtension temporaire sur les autres phases (phénomène non négligeable en haute tension). Les systèmes de régulation de tension des alternateurs peuvent aussi créer des surtensions temporaires lors de phénomènes transitoires. La *ferrorésonance* est une surtension transitoire ou temporaire (*La*

ferro-résonance est un phénomène de résonance affectant les réseaux électriques impliquant une "inductance non linéaire" et une capacité alimentées par une source sinusoïdale.).

- Surtension de manœuvre : liée à la manœuvre d'un disjoncteur ou d'un sectionneur, d'une durée de quelques dizaines microsecondes à quelques millisecondes. La manœuvre d'un sectionneur dans un poste électrique à isolation gazeuse engendre en particulier des surtensions à fronts très raides.
- Surtension de foudre : due au foudroiement d'une ligne à haute tension.

3. Les efforts électrodynamiques

Nous savons que la circulation de courants dans des conducteurs parallèles induit dans ces conducteurs des forces électromagnétiques proportionnelles au produit des courants circulant dans les deux conducteurs.

En cas de court-circuit dans une configuration de ligne ou de poste en conducteurs souples, on mesure alors des surtensions mécaniques (traction et flexion) appelées efforts électrodynamiques au niveau des supports et des isolateurs d'ancrage. On observe également des mouvements de conducteurs très importants. Ces efforts pouvant être considérables, il est indispensable de les prendre en compte dès la conception d'un nouvel ouvrage.

4. Rigidité diélectrique, isolant électrique, claquage électrique

4.1. Rigidité diélectrique

La rigidité diélectrique d'un milieu isolant représente la valeur maximum du champ électrique que le milieu peut supporter avant le déclenchement d'un arc électrique (donc d'un court-circuit). On utilise aussi l'expression champ disruptif qui est synonyme mais plus fréquemment utilisée pour qualifier la tenue d'une installation, alors que le terme rigidité diélectrique est plus utilisé pour qualifier un matériau. Pour un condensateur quand cette valeur est dépassée, l'élément est détruit. La valeur maximale de la tension électrique appliquée aux bornes, est appelée tension de claquage du condensateur.

Dans le cas d'un disjoncteur à haute tension, c'est la valeur maximum du champ qui peut être supportée après l'extinction de l'arc (l'interruption du courant). Si la rigidité diélectrique est inférieure au champ imposé par le rétablissement de la tension, un réamorçage de l'arc se produit d'où l'échec de la tentative d'interruption du courant.

4.2. Isolant électrique

En électricité comme en électronique, un isolant, ou isolant électrique aussi appelé matériau diélectrique, est une partie d'un composant ou un organe ayant pour fonction d'interdire le passage de tout courant électrique entre deux parties conductrices. Un isolant possède peu de charges libres, elles y sont piégées, contrairement à un matériau conducteur où les charges sont nombreuses et libres de se déplacer sous l'action d'un champ électromagnétique.

La faculté d'un matériau à être isolant peut aussi être expliquée par la notion de bandes d'énergie. L'isolation électrique est rattachée à une grandeur physique mesurable, la résistance, qui s'exprime en ohms (*symbole* : Ω).

4.3. Claquage électrique

Le claquage est un phénomène qui se produit dans un isolant quand le champ électrique est plus important que ce que peut supporter cet isolant. Il se forme alors un arc électrique.

Dans un condensateur, lorsque la tension atteint une valeur suffisante pour qu'un courant s'établisse au travers de l'isolant (ou diélectrique), cette tension critique est appelée tension de claquage. Elle est liée à la géométrie de la pièce et à une propriété des matériaux appelée rigidité diélectrique qui est généralement exprimée en (*kV/mm*). La décharge électrique à travers l'isolant est en général destructrice. Cette destruction peut-être irrémédiable, mais ceci dépend de la nature et de l'épaisseur de l'isolant entrant dans la constitution du composant : certains isolants sont ainsi dits auto-régénérateurs, comme l'air ou l'hexafluorure de soufre.

5. Ionisation des gaz

L'ionisation est l'action qui consiste à enlever ou ajouter des charges à un atome ou une molécule. L'atome - ou la molécule - perdant ou gagnant des charges n'est plus neutre électriquement. Il est alors appelé ion.

Un plasma est une phase de la matière constituée de particules chargées, d'ions et d'électrons. La transformation d'un gaz en plasma (gaz ionisé) ne s'effectue pas à température constante pour une pression donnée, avec une chaleur latente de changement d'état, comme pour les autres états, mais il s'agit d'une transformation progressive. Lorsqu'un gaz est suffisamment chauffé, les électrons des couches extérieures peuvent être arrachés lors des collisions entre particules, ce qui forme le plasma. Globalement neutre, la présence de particules chargées donne naissance à des comportements inexistant dans les fluides, en présence d'un champ électromagnétique par exemple.

Chapitre II

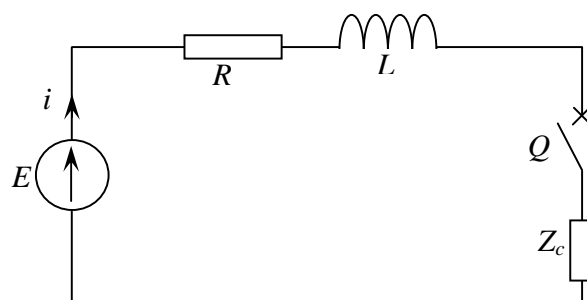
Phénomènes d'interruption du courant électrique

1. L'arc électrique

L'arc électrique correspond à une décharge lumineuse qui accompagne le passage de l'électricité entre deux conducteurs présentant une différence de potentiel convenable. Ce phénomène fut découvert en 1813 par le physicien et chimiste anglais **Davy** qui en étudia les effets à travers différents gaz.

2. Naissance d'un arc électrique à la coupure d'un circuit

A la coupure d'un circuit d'impédance Z_c , naît généralement un arc électrique entre les contacts de l'organe de manoeuvre (interrupteur, disjoncteur). Ce fait marquant, qui intervient principalement sur forte surcharge (ou court-circuit) lorsque la séparation des pôles est dépendante des éléments de contrôle de la surintensité, se produit également sur ouverture non spontanée et -à un degré moindre- sur fermeture.



3. Explication simplifiée relative à un fonctionnement sur court-circuit ($Z_c=0$)

L'interrupteur idéal devrait assurer une coupure quasi instantanée ($t = 0$) avec une énergie dissipée entre ses pôles $r.i^2.t = 0$ (Figures 1 et 2).

En réalité, au moment de la coupure, la résistance r des pôles du disjoncteur Q ci-dessus va passer d'une valeur presque nulle à une valeur très élevée, ce qui conduit aux graphes des figures 3 et 4.

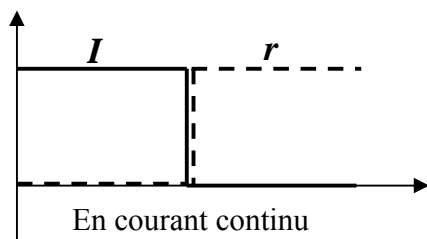


Fig. 1

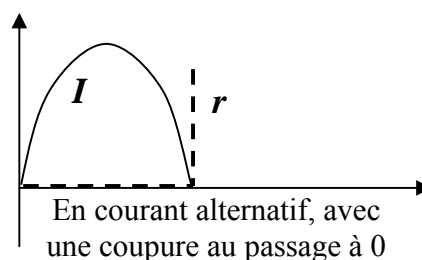


Fig. 2

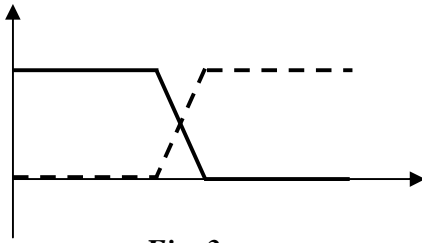


Fig. 3

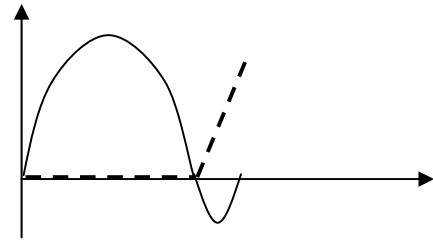


Fig. 4

L'énergie de coupure prend la forme : $\int r.i^2 .dt = \int (E - R.i).i.dt + \int L.i.di$

Cette relation montre que même avec une coupure infiniment rapide, l'énergie électromagnétique $\frac{1}{2}Li^2$ initialement contenue dans le circuit va devoir cependant être dépensée entre les contacts. D'autre part, dès les premiers instants de l'écartement des pôles, la densité de courant $J = \frac{i}{S}$ va considérablement augmenter du fait de la diminution de la surface de contacts. Ceci entraîne un échauffement très localisé qui a pour effet d'ioniser le fluide isolant en abaissant sa rigidité diélectrique : un arc apparaît avec ces effets négatifs.

4. Etude temporelle de la tension d'arc en courant alternatif

A l'ouverture du disjoncteur sur court-circuit, la loi qui régit l'évolution du courant i_{CC} est :

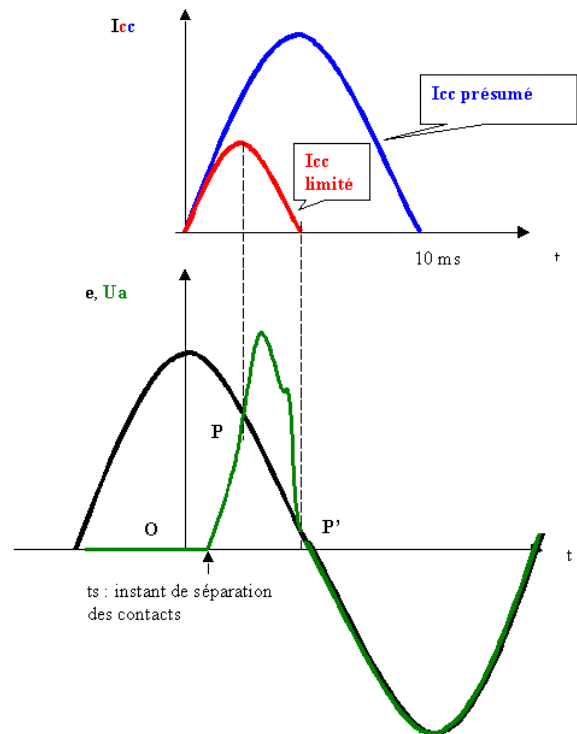
$$e - U_a = R.i_{CC} + L.\frac{di_{CC}}{dt}$$

U_a est la tension d'arc entre pôles du disjoncteur.

On peut négliger R , ce qui conduit à :

$$e - U_a = L.\frac{di_{CC}}{dt}$$

Le dispositif de protection insère ainsi très rapidement une chute de tension U_a qui joue le rôle de f_{cem} s'opposant à la croissance du courant de court-circuit présumé i_{CC} . On obtient en conséquence un effet limiteur du courant de court-circuit, effet d'autant plus efficace que U_a est élevée.



Au point P ci-contre, quand $di/dt=0$, i_{CC} est **maximum** et $e=U_a$. Ceci se traduit par les graphes où le courant et la tension e sont en quadrature.

5. Coupure avec l'arc électrique

La coupure des courants électriques est une opération qui s'accompagne avec plusieurs phénomènes et contraintes de fonctionnement :

- Dissiper l'énergie emmagasinée dans les circuits selfiques au moment de la coupure ($\frac{1}{2}Li^2$) ;
- Supporter une surtension $L \cdot \frac{di}{dt}$ qui survient lors du passage du courant de sa dernière valeur à zéro, cette tension peut conduire au claquage du diélectrique ;
- Supporter la tension transitoire de rétablissement TTR. Cette tension dépend des caractéristiques du réseau et sa vitesse de croissance ($\frac{dv}{dt}$) (de l'ordre de $kV/\mu s$).

Pour remédier à ces contraintes, la solution adoptée est de couper le courant au moment de son passage par 0, ainsi l'énergie emmagasinée $\frac{1}{2}Li^2$ et la tension $L \cdot \frac{di}{dt}$ seraient nulles.

La technique de coupure au passage à zéro du courant s'accompagne de surtensions au moment de l'interruption qui surviennent à cause de l'effet capacitif des circuits électriques. La coupure du courant au passage par zéro est pratiquement irréalisable à cause des temps de réponse des systèmes de mesure et de commande, sachant qu'au moment du défaut le courant évolue très rapidement et la réaction au moment du passage à zéro est une opération très délicate. C'est ce qui explique l'existence de l'arc électrique.

6. Inconvénients, dangers de l'arc électrique

- Pas de rupture instantanée du circuit.
- Dégradation des contacts par micro-fusion (matière "arrachée") et risques de soudure.
- Contraintes thermiques élevées (température d'arc de quelques milliers à plusieurs dizaines de milliers de degrés) avec risques de brûlure pour les personnes, d'incendie pour le matériel.
- Onde parasite, rayonnement U-V.

7. Processus de coupure avec l'arc électrique

La coupure par l'arc électrique se fait en trois phases:

- **La période d'attente :**

Période entre l'ouverture des contacts et le zéro du courant où l'arc électrique est constitué d'une colonne de plasma composée d'ions et d'électrons. Cette colonne est conductrice sous l'effet d'une température élevée due à l'énergie dissipée par l'arc. La tension entre les deux contacts s'appelle la tension d'arc et c'est une composante très importante dans le choix du milieu de coupure, car elle définit la valeur de l'énergie dissipée.

- **La période d'extinction :**

Au moment de passage par zéro du courant, l'arc est éteint, le canal des molécules ionisées est cassé, le milieu redevient isolant et le courant est interrompu.

La résistance de l'arc doit augmenter au voisinage du zéro du courant, et dépend de la constante d'ionisation du milieu. Aussi, la puissance de refroidissement de l'appareil doit être supérieure à l'énergie de l'arc dissipée par effet joule.

- **La période Post-Arc :**

Pour que la coupure soit réussie, il faut que la vitesse de régénération diélectrique soit plus rapide que l'évolution de la tension transitoire de rétablissement TTR, sinon on assiste à un phénomène de réallumage ou réamorçage de l'arc.

8. Les milieux de coupure

Depuis des années, les constructeurs ont cherché, développé, expérimenté et mis en oeuvre des appareils de coupure à base de milieux aussi variés que : l'air, l'huile, le SF6 et enfin le vide. Pour une coupure réussie, le milieu doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Avoir une conductivité thermique importante pour pouvoir évacuer l'énergie thermique engendrée par l'arc électrique ;
- Avoir une vitesse de désionisation importante pour éviter des réamorçages du milieu ;
- Avoir une résistivité électrique faible lorsque la température est élevée pour minimiser l'énergie dissipée pour l'arc ;
- Avoir une résistivité électrique grande lorsque la température est faible pour minimiser le délai de rétablissement de la tension ;
- L'espace intercontacts doit offrir une tenue diélectrique suffisante.

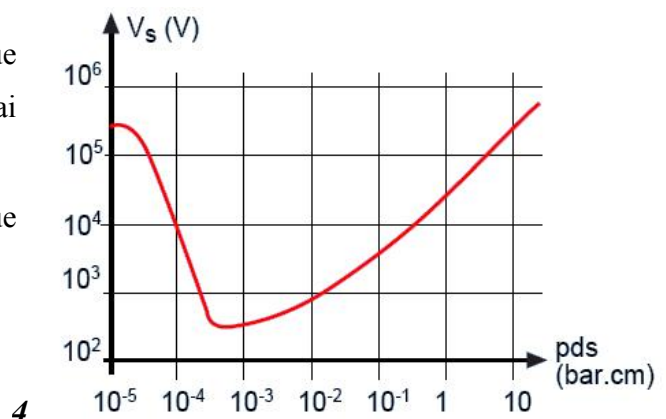


Fig.II.7 : La courbe de Paschen

La tenue diélectrique du milieu dépend de la distance entre les électrodes et de la pression du milieu. Pour l'air, la courbe de *Paschen* donne l'évolution de la rigidité diélectrique en fonction de la pression du milieu.

Les courbes suivantes donnent l'évolution de la rigidité diélectrique en fonction de la distance intercontacts.

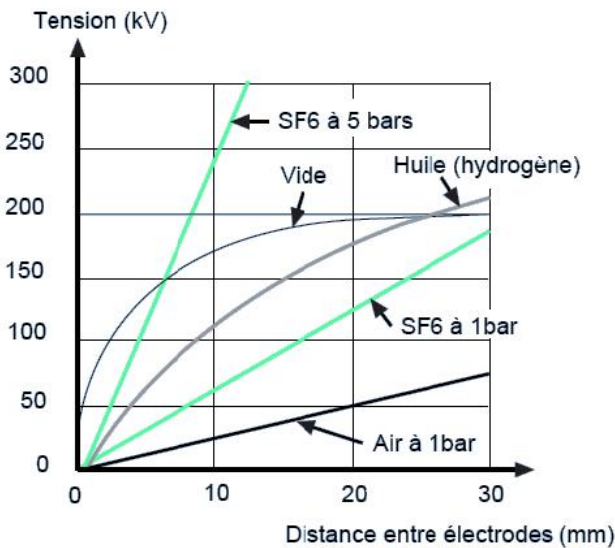


Fig.II.8 : Rigidité diélectrique en fonction de la distance entre les électrodes

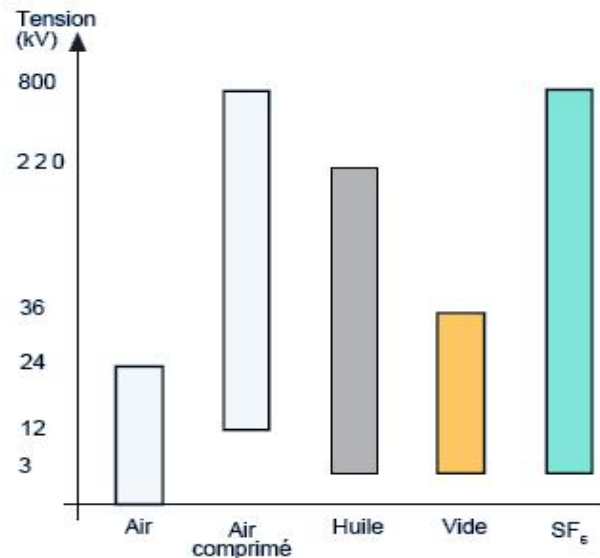


Fig.II.9 : Domaine d'utilisation des différents milieux de coupure

Plusieurs milieux de coupure ont été développés à ce jour :

- La coupure dans l'air (jusqu'à 24 kV), mais aujourd'hui limitée à des utilisations en basse tension;
- La coupure dans l'huile (jusqu'à 200 kV) ;
- La coupure dans le SF6 (jusqu'à quelques centaines de kV) ;
- La coupure dans le vide (jusqu'à 36 kV)

9. Différentes techniques de coupure de l'arc

9.1. La coupure dans l'air

L'air à pression atmosphérique présente une rigidité diélectrique faible et une constante de disionisation élevée (10ms).

La technique utilisée consiste à garder l'arc électrique court pour limiter l'énergie thermique dissipée, et l'allonger par le biais de plaque une fois le courant passe par zéro.

Pour des tensions supérieures à 24 kV, l'air comprimé est utilisé pour améliorer la tenue diélectrique, la vitesse de refroidissement et la constante de temps de désionisation. L'arc est refroidi par des systèmes de soufflage haute pression.

La coupure n'est pas très utilisée en moyenne tension pour des raisons d'encombrement et de coût. Toutefois la coupure dans l'air reste la solution la plus utilisée en basse tension grâce à sa simplicité et son endurance.

9.2. La coupure dans l'huile

Cette technique de coupure consiste à immerger les contacts dans l'huile. Au moment de la coupure, l'huile se décompose et dégage de l'hydrogène et du méthane principalement. Ces gaz forment une bulle qui est soumise à une grande pression pendant la coupure. Au passage du courant par zéro, l'arc s'éteint du fait de la présence de l'hydrogène.

Les disjoncteurs à coupure dans l'huile ont cédé la place à d'autres types de technologies tel que le SF6 et le vide pour les inconvénients suivants :

- Niveau de sécurité et de maintenance élevé pour contrôler la dégradation des propriétés diélectriques de l'huile et l'usure des contacts ;
- La décomposition de l'huile à chaque coupure est un phénomène irréversible ;
- Risque d'explosion et d'inflammation.

9.3. La coupure dans le SF6

Depuis plusieurs années, les constructeurs de disjoncteurs se sont orientés vers le SF6 (hexafluore de soufre) comme milieu de coupure, vu ses qualités chimiques et diélectriques.

Sous l'effet de la température, la molécule SF6 se décompose, mais dès que le courant retrouve des valeurs faibles, la molécule se compose à nouveau.

Le SF6 présente une conductivité thermique équivalente à celle de l'air, une rigidité diélectrique élevée, et une constante de désionisation faible.

L'arc électrique est composé d'un plasma de SF6 dissocié, de forme cylindrique. Ce plasma comporte un noyau à température très élevée, entouré d'une gaine de gaz plus froid. La totalité du courant est transportée par le noyau. La gaine extérieure reste isolante.

9.4. La coupure dans le vide

D'après la courbe de *Paschen* (Fig.II.2), le vide présente des performances très intéressantes: à partir d'une pression de 10^{-5} bars, la rigidité diélectrique est de 200 kV pour une distance entre électrodes de seulement 12 mm .

En l'absence de milieu de coupure, l'arc électrique, dans la coupure sous vide, est composé de vapeurs métalliques et d'électrons provenant des matériaux composant les contacts. Cet arc peut être diffus ou concentré.

Les constructeurs de disjoncteurs avec ampoule sous vide ont porté leur recherche au niveau des matériaux des contacts, leur forme et les mécanismes de coupure. La coupure dans le vide est très employée aujourd'hui en moyenne tension, très peu utilisée en basse tension pour des raisons de coût, et reste dans le domaine prospectif pour la haute tension ($> 50\text{ kV}$).

Grâce à sa grande endurance électrique avec des TTR à front de montée très raides, la coupure sous vide est aujourd'hui largement utilisée en MT pour l'alimentation des moteurs, câble, lignes aériennes, transformateurs, condensateurs, fours à arc...

10. Tension transitoire de rétablissement TTR

La vitesse de croissance de la TTR a un rôle fondamental sur la capacité de coupure des appareils. La norme impose pour chaque tension nominale, une valeur enveloppe qui correspond aux besoins normalement rencontrés.

Le pouvoir de coupure d'un disjoncteur correspond à la valeur la plus élevée du courant qu'il peut couper à sa tension assignée et à sa TTR assignée. Un disjoncteur devrait être capable de couper tout courant inférieur à son PDC pour toute TTR dont la valeur est inférieure à la TTR assignée. Pour une tension assignée de 24 kV , la valeur maximale de TTR est de l'ordre de 41 kV et peut accroître avec une vitesse de 0.5 kV/ms .

Chapitre III

Appareillages de connexion et d'interruption

A. Appareillages de connexion

1. Rôle

Les appareillages de connexion sont conçus pour exécuter la fonction de séparation et/ou connexion qui correspond à la mise hors et/ou sous tension de toute ou une partie d'une installation.

2. Contacts permanents

Les contacts permanents sont destinés à relier électriquement de façon permanente des parties d'un circuit électrique. On peut les classer en deux grandes catégories :

- La première est celle des contacts *non démontables* (embrochés, soudé...etc.) ;
- La seconde est celle des contacts *démontables* (boulonnés ou par coincement...etc.).

3. Bornes de connexion

Sont des dispositifs exécutés aux niveaux des appareils électriques (machines électriques, transformateurs, appareils de mesure...) pour réaliser des contacts permanents simples et démontables.



Plaque à bornes (moteur)



Prise de courant

4. Prises de courant

Sont des organes de connexion dans lesquelles les appareils électriques sont reliés aux sources d'énergie d'une façon simple.

5. Sectionneurs

5.1. Fonction

Le sectionneur est un appareil mécanique de connexion capable d'ouvrir et de fermer un circuit lorsque le courant est nul ou pratiquement nul, afin d'isoler la partie de l'installation en aval du sectionneur.



5.2. Principe de fonctionnement

- S'installe majoritairement en tête d'une installation électrique ;
- Permet d'isoler un circuit électrique (partie puissance et commande) du réseau d'alimentation ;
- Contrairement à l'interrupteur –sectionneur, le sectionneur porte fusible n'a pas de pouvoir de coupure : il ne permet pas de couper un circuit électrique en charge (moteur électrique en rotation, résistances de chauffage alimentées,...) ;
- Est un organe de sécurité lors d'une intervention de maintenance : cadenassé en position ouverte par un agent de maintenance habilité, il interdit toute remise en route du système ;
- Peut être manipulé depuis l'extérieur de l'armoire électrique grâce à une poignée.

5.3. Différentes organes

- **Les contacts principaux (1-2), (3-4) et (5-6) :**

Permettent d'assurer le sectionnement de l'installation.

- **Les contacts auxiliaires (13-14), (23-24) :**

Permettent de couper le circuit de commande des contacteurs avant l'ouverture des contacts principaux. L'ouverture du circuit de commande de l'équipement entraînant l'ouverture de son circuit de puissance, celui-ci n'est donc jamais ouvert en charge. Inversement, à la mise sous tension, le contact auxiliaire est fermé après la fermeture des contacts principaux.

- **La poignée de commande :**

Elle peut être verrouillée en position ouverte par un cadenas (sécurité).

- **Les fusibles :**

Assurant la protection contre les surcharges et les courts-circuits dans l'installation ou l'équipement électrique.

5.4. Normalisation

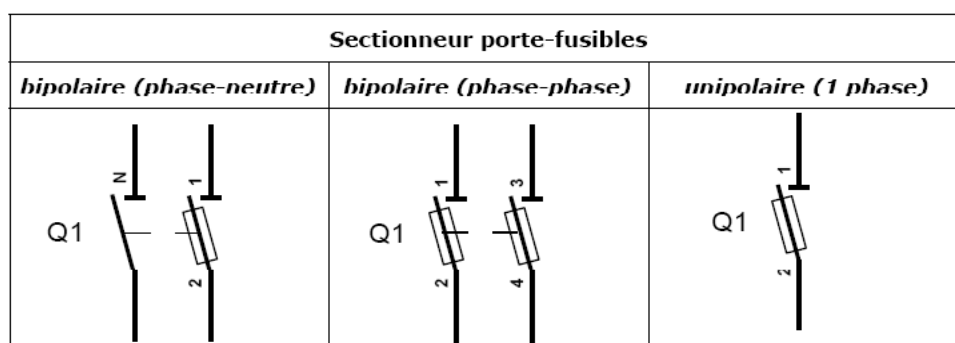
- **Choix des composants :**

Le choix d'un sectionneur porte-fusibles dépend de la taille des fusibles utilisés (donc de la puissance absorbée par la partie puissance du circuit).

- **Symbole :**

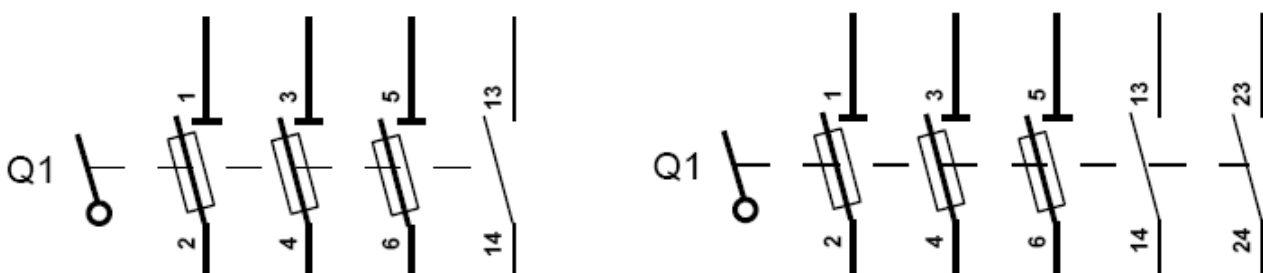
Plusieurs types de configurations peuvent être utilisés en fonction du besoin du système. Voici quelques exemples :

- **Sectionneur porte-fusibles simple**



- **Sectionneur porte-fusibles tripolaire avec contact(s) de pré-coupage avec poignée extérieure :**

- A utiliser dans un circuit triphasé (sans neutre) ;
- Les contacts de pré-coupage permettent d'isoler la partie commande du circuit.



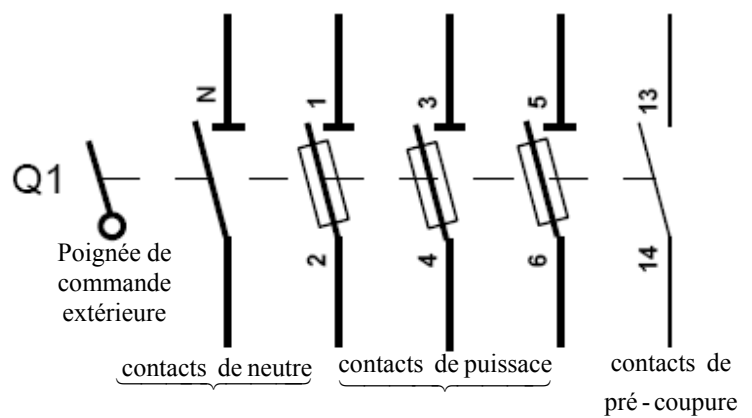
Sectionneur porte-fusibles tripolaire avec contact de neutre et de pré-coupure avec poignée extérieure :

- A utiliser dans un circuit triphasé avec neutre ; le neutre du sectionneur ne doit pas contenir de fusible, mais une barrette de neutre prévue à cet effet.



➤ **Sectionneur porte-fusibles tripolaire avec contact de neutre et de pré-coupure avec poignée extérieure :**

- A utiliser dans un circuit triphasé avec neutre ; le neutre du sectionneur ne doit contenir de fusible, mais une barrette de neutre prévue à cet effet.



5.5. Différents types des sectionneurs

• **Sectionneurs BT domestiques**

La fonction sectionneur est obligatoire au départ de chaque circuit. Elle est réalisée par des sectionneurs à fusibles incorporés.

• **Sectionneurs BT industriels**

Ces appareils assurent la fonction de sectionnement au départ des équipements. En général, ces sectionneurs comportent des fusibles et des contacts auxiliaires.

• **Sectionneurs MT et HT**

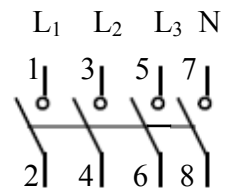
Sont très employés dans les réseaux de moyenne et haute tension pour garantir l'isolement des lignes et des installations avec coupure visible.

B. Appareillages d'interruption

1. Les interrupteurs

1.1. Rôle

Appareil mécanique de connexion capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans des conditions normales du circuit.



Interrupteur tétrapolaire

1.2. Symbole

2. Les interrupteurs-sectionneurs

2.1. Rôle

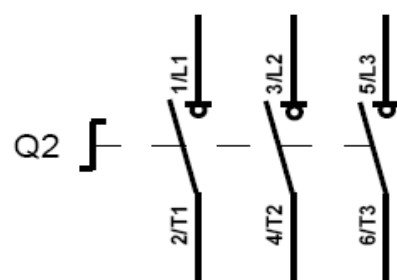
Les interrupteurs-sectionneurs satisfont les applications d'interrupteurs par la fermeture et la coupure en charge de circuits résistifs ou mixtes, résistifs et inductifs, ceci pour des manœuvres fréquentes.



2.2. Symbole

2.3. Exemples d'application

- Manœuvres ;
- Arrêt d'urgence.



Interrupteur sectionneur tripolaire

3. Les contacteurs

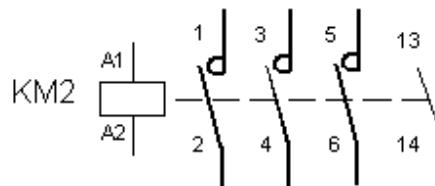
3.1. Rôle

Appareil électromagnétique de connexion ayant une seule position de repos, commandé électriquement et capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans des conditions normales du circuit. C'est essentiellement un appareil de commande et de contrôle capable d'effectuer un grand nombre de manœuvres sous des courants de charges normaux.



Contacteur tripolaire

3.2. Symbole

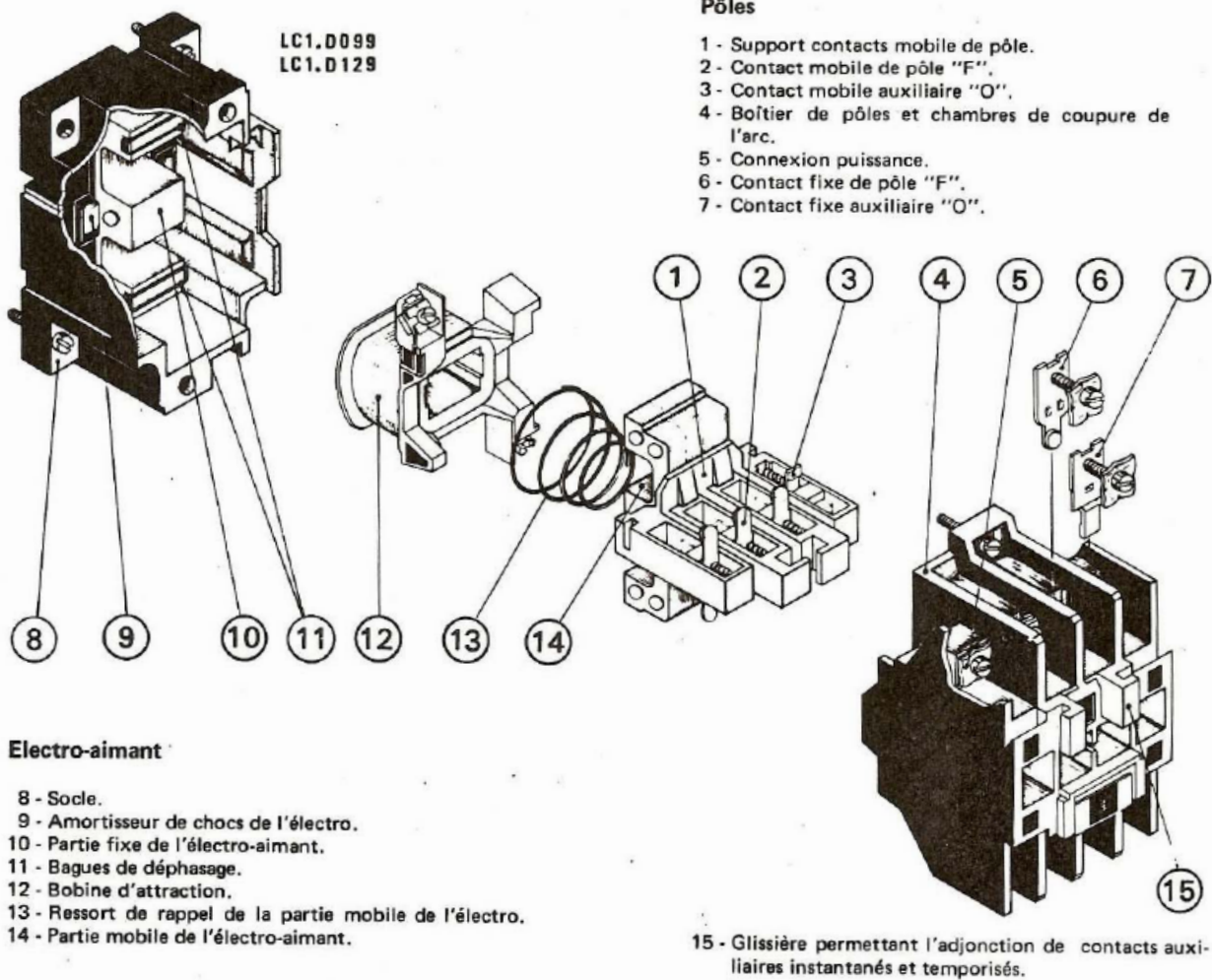


3.3. Construction générale

Ils peuvent être unipolaires, bipolaires, tripolaires ou encore tétrapolaires, en d'autres termes ils possèdent un, deux, trois ou quatre contacts de puissance. Sur les contacteurs de puissance élevée les bobines sont souvent interchangeables, permettant de commander le contacteur avec différentes tensions (24V, 48V, 110V, 230V, 400V).

Les contacteurs tripolaires comportent la plupart du temps un contact auxiliaire, tandis que les contacteurs tétrapolaires n'en ont en général pas (la place du contact auxiliaire étant occupée par le quatrième contact de puissance 7-8 non représenté sur le schéma ci dessus).

La différence entre contact de puissance et contact auxiliaire réside dans le fait que le contact de puissance est prévu pour résister lors de l'apparition d'un arc électrique, lorsqu'il ouvre ou ferme le circuit; de ce fait, c'est ce contact qui possède un pouvoir de coupure. Le contact auxiliaire n'est doté que d'un très faible pouvoir de coupure; il est assimilé à la partie commande du circuit dont les courants restent faibles face à la partie puissance.



3.3.1. Les contacts principaux

Sont les éléments de contacts qui permettent d'établir et d'interrompre le courant dans le circuit de puissance.

3.3.2. Organe de manœuvre (électro-aimant)

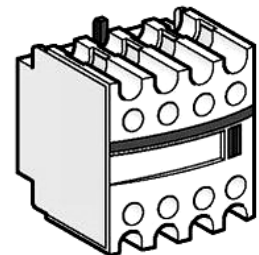
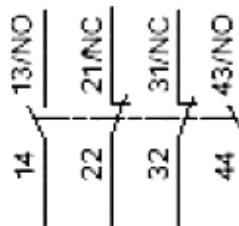
Il est composé d'un bobinage en cuivre et d'un circuit magnétique feuilleté composé d'une partie fixe et d'une autre mobile. Lorsque l'électro-aimant est alimenté, la bobine parcourue par le courant alternatif crée un champ magnétique canalisé par le circuit magnétique provoquant le rapprochement de la partie mobile et ainsi la fermeture des contacts.

- **Bagues de déphasage** (spires de Frager) sont des éléments d'un circuit magnétique fonctionnant en alternatif. Le rôle de la spire conductrice (en court-circuit) en alliage cuivreux est de créer un flux magnétique secondaire à partir d'un flux principal créé par un bobinage inducteur parcouru par un courant alternatif sinusoïdal. La spire embrasse un flux principal variant en permanence. Elle est le siège d'une force électromotrice induite (fem), donc une tension interne à la spire. La spire étant en court-circuit, elle est parcourue par un courant induit. Ce courant induit créé alors lui-même un flux secondaire au niveau de la spire. D'après les lois de l'électromagnétisme, ce flux secondaire est déphasé par rapport au flux principal, ce qui signifie que les deux flux alternatifs ne passent pas par zéro au même moment. Ainsi, dans le circuit magnétique les deux flux se composent en un flux résultant ayant d'autres propriétés que le flux principal (la bague de déphasage (spire de Frager) permet de réduire les vibrations en évitant (par déphasage d'une partie du flux), l'annulation de la force d'attraction.).

3.3.3. Accessoires

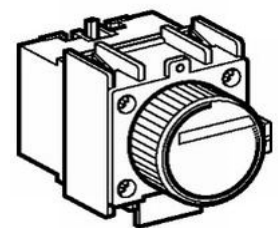
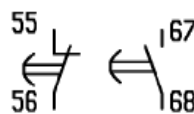
- **Contacts auxiliaires instantanés**

Les contacts auxiliaires sont destinés à assurer l'auto alimentation, les verrouillages des contacts ...etc. Il existe deux types de contacts, les contacts à fermeture et les contacts à ouverture.



- **Contacts temporisés**

Le contact temporisé permet d'établir ou d'ouvrir un contact après certains temps pré-réglé de façon à permettre à notre équipement de fonctionner convenablement.



- **Dispositif de condamnation mécanique**

Cet appareillage interdit l'enclenchement simultané de deux contacteurs juxtaposés.



3.4. Critères et choix d'un contacteur

Le choix d'un contacteur est lié à la nature et la valeur de la tension du réseau, à la puissance installée, aux caractéristiques de la charge et aux exigences du service désiré.

3.4.1. Catégorie d'emploi

Les catégories d'emploi normalisées fixent les valeurs de courant que le contacteur doit établir et couper. Elles dépendent : - De la nature du récepteur.

- Des conditions dans lesquelles s'effectuent la fermeture et l'ouverture.

3.4.2. Courant d'emploi I_e

Il est défini suivant la tension assignée d'emploi, la fréquence et le service assignés, la catégorie d'emploi et la température de l'air au voisinage de l'appareil.

3.4.3. Tension d'emploi U_e

Valeur de tension qui, combinée avec un courant assigné d'emploi, détermine l'emploi du contacteur. Pour les circuits triphasés, elle s'exprime par la tension entre phases.

3.4.4. Pouvoir de coupure

C'est la valeur efficace du courant maximal que le contacteur peut couper, sans usure exagérée des contacts, ni émission excessive de flammes. Le pouvoir de coupure dépend de la tension du réseau. Plus cette tension est faible, plus le pouvoir de coupure est grand.

3.4.5. Pouvoir de fermeture

C'est la valeur efficace du courant maximal que le contacteur peut établir, sans soudure des contacts.

3.4.6. Endurance électrique (durée de vie)

C'est le nombre de manoeuvres maximal que peut effectuer le contacteur. Ce nombre dépend du service désiré.

	Catégorie	Récepteur	Fonctionnement
~	AC1	Four à résistances	Charges non inductives ou peu inductives
	AC2	Moteur à bagues	Démarrage, inversion de marche
	AC3	Moteur à cage	Démarrage, coupure du moteur lancé
	AC4	Moteur à cage	Démarrage, inversion, marche par à coups
=	DC1	Résistance	Charges non inductives
	DC2	Moteur Shunt	Démarrage, coupure du moteur lancé
	DC3		Démarrage, inversion, à-coups
	DC4	Moteur Série	Démarrage, coupure du moteur lancé
	DC5		Démarrage, inversion, à-coups

puissances normalisées des moteurs triphasés 50/60 Hz en catégorie AC-3 ($\theta \leq 60^\circ\text{C}$)								courant assigné d'emploi en AC-3 jusqu'à A	contacts auxiliaires instantanés	référence de base à compléter par le repère de la tension (1) fixation (2)					
220 V kW	380 V kW	415 V kW	440 V kW	500 V kW	660 V kW	1000 V kW	vis			ressort	tensions usuelles				
											~	=	BC (3)		
2,2	4	4	4	5,5	5,5		9			LC1 D09** (4)	LC1 D09** (4)	B7	P7	BD	BL
3	5,5	5,5	5,5	7,5	7,5		12			LC1 D12** (4)	LC1 D123** (4)	B7	P7	BD	BL
4	7,5	9	9	10	10		18			LC1 D18** (4)	LC1 D183** (4)	B7	P7	BD	BL
5,5	11	11	11	15	15		25			LC1 D25** (4)	LC1 D253** (4)	B7	P7	BD	BL
7,5	15	15	15	18,5	18,5		32			LC1 D32** (4)	LC1 D323** (4)	B7	P7	BD	BL
9	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5		38			LC1 D38** (4)	LC1 D383** (4)	B7	P7	BD	BL
11	18,5	22	22	22	30	22	40			LC1 D40** (4)		B7	P7	BD	
15	22	25	30	30	33	30	50			LC1 D50** (4)		B7	P7	BD	
18,5	30	37	37	37	37	37	65			LC1 D65**		B7	P7	BD	
22	37	45	45	55	45	45	80			LC1 D80**		B7	P7	BD	
25	45	45	45	55	45	45	95			LC1 D95**		B7	P7	BD	
30	55	59	59	75	80	75	115			LC1 D115**		B7	P7	BD	
40	75	80	80	90	100	90	150			LC1 D150**		B7	P7	BD	

(1) Tensions du circuit de commande préférentielles.

Courant alternatif

vols	24	48	115	230	400	440	500
LC1 D09...D150 (bobines D115 et D150 antiparasitées d'origine)							
50/60 Hz	B7	E7	FE7	P7	V7	R7	
LC1 D40...D115							
50 Hz	B5	E5	FE5	P5	V5	R5	S5
60 Hz	B6	E6				R6	

C'est le rapport entre la durée de passage du courant et la durée d'un cycle de manoeuvre.

3.4.8. Puissance

Puissance du moteur normalisé pour lequel le contacteur est prévu à la tension assignée d'emploi.

3.4.9. Tension de commande U_c

Valeur assignée de la tension de commande sur laquelle sont basées les caractéristiques de fonctionnement de (12V à 400V) alternatif ou continu.

puissances normalisées des moteurs triphasés 50/60 Hz en catégorie AC-3							courant d'emploi en AC-3 ($\theta \leq 60^\circ\text{C}$) jusqu'à A	contacts auxiliaires instantanés par contacteur		contacteurs livrés avec bobines référence de base à compléter par le repère de la tension (1)				
220 V	380 V	440 V	500 V	660 V	1000 V	440 V		vis étrier	ressort	tensions usuelles (3)				
kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	~			=	BC			
2,2	4	4	4	5,5	5,5	9	1	1	LC2 D09.. (4)	LC2 D093.. (4)	B7	P7	BD	BL
3	5,5	5,5	5,5	7,5	7,5	12	1	1	LC2 D12.. (4)	LC2 D123.. (4)	B7	P7	BD	BL
4	7,5	9	9	10	10	18	1	1	LC2 D18.. (4)	LC2 D183.. (4)	B7	P7	BD	BL
5,5	11	11	11	15	15	25	1	1	LC2 D25.. (4)	LC2 D253.. (4)	B7	P7	BD	BL
7,5	15	15	15	18,5	18,5	32	1	1	LC2 D32.. (4)	LC2 D323.. (4)	B7	P7	BD	BL
9	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	38	1	1	LC2 D38.. (4)		B7	P7	BD	BL
11	18,5	22	22	22	30	22	40	1	1	LC2 D40.. (4)		B7	P7	BD
15	22	25	30	30	33	30	50	1	1	LC2 D50.. (4)		B7	P7	BD
18,5	30	37	37	37	37	37	65	1	1	LC2 D65..		B7	P7	BD
22	37	45	45	55	45	45	80	1	1	LC2 D80..		B7	P7	BD
25	45	45	45	55	45	45	95	1	1	LC2 D95..		B7	P7	BD
30	55	59	59	75	80	75	115	1	1	LC2 D115..		B7	P7	BD
40	75	80	80	90	100	90	150	1	1	LC2 D150..		B7	P7	BD

Exemples :

- Choisissez le contacteur correspondant aux cahiers des charges suivants :
Moteur Asynchrone triphasé (coupure moteur lancé) de 15 kW et de $\cos\varphi = 0.8$ sous 400V, 50Hz, tension de commande sous 24V 50Hz.
- Choisissez le contacteur correspondant aux cahiers des charges suivants :
Moteur Asynchrone triphasé à cage de 37 kW sous 230V, 50Hz, tension de commande 24V, 50/60Hz.

Chapitre IV

APPAREILLAGES DE PROTECTION

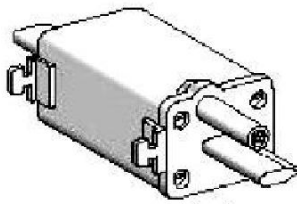
1. Fusible

Le fusible est un élément de faiblesse dans un circuit électrique. S'il y a surintensité c'est là que le circuit doit se couper. Actuellement les fusibles sont en cartouche.

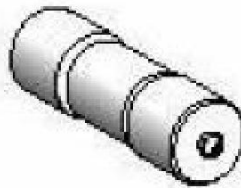
a. Rôle

La fonction du fusible est d'assurer la protection des circuits électriques contre les courts-circuits et les surcharges par la fusion d'un élément calibré lorsque le courant qui le traverse dépasse la valeur de son calibre. La fusion est créée par un point faible dans le circuit grâce à un conducteur dont la nature, la section et le point de fusion sont prédéterminés par le conducteur.

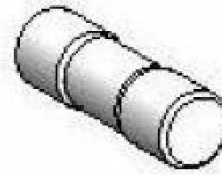
En général, le fusible est associé à un porte fusible permet d'avoir la fonction sectionneur.



Fusible à couteau



Fusible avec percuteur



Fusible sans percuteur

DIFFERENTS TYPES :

cartouche à voyant de fusion :



cartouche à percuteur



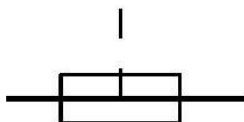
fusible à couteau
(grosse intensité > 80A)



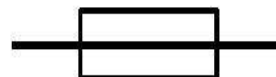
(présence de percuteur
sur ces fusibles fréquente)

le percuteur , s'il est sorti
indique la fusion du fusible
et appuie sur un micro-contact
qui peut tout couper (évite la
marche en " monophasé ")
ou enclencher une sirène etc ..

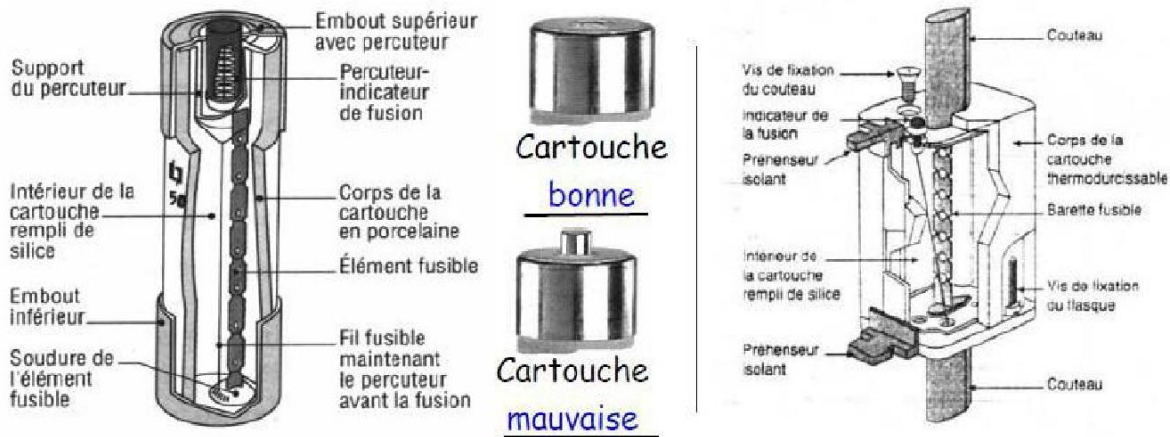
b. Symbole



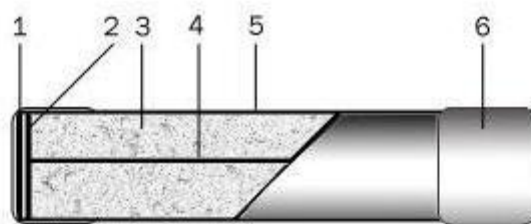
Fusible avec percuteur



Fusible sans percuteur



c. Constitution



1 : Plaque de soudure ; 2 : Disque de centrage de la lame fusible ; 3 : Silice (permet une coupure franche) ; 4 : Lame fusible ; 5 : Tube isolant ; 6 : Embout de contact.

d. Caractéristiques principales

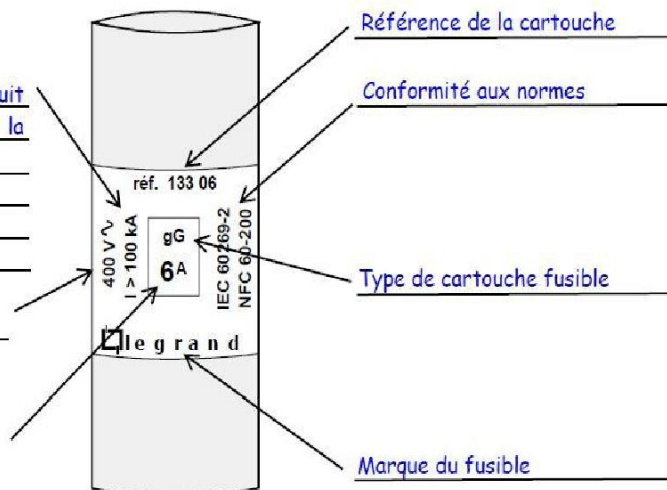
Pouvoir de coupure :

C'est le courant de court-circuit maximum qui peut être coupé par la cartouche fusible (valeur en kA)

Tension nominale

Calibre du fusible :

Courant nominal pouvant traverser la cartouche fusible sans provoquer ni fusion, ni échauffement excessif



Dimensions :

Fonction de la tension du réseau. Pour les cartouches domestiques, elles sont fonction du calibre (8.5x23 → 10A ; 10.3x25.6 → 16A...)

➤ **Courant nominal ou calibre d'une cartouche fusible I_n**

C'est le calibre du fusible. Il peut donc traverser le fusible en permanence sans provoquer la fusion ni d'échauffement anormal.

➤ **Tension nominale d'une cartouche fusible U_n**

C'est la tension maximale pour laquelle le fusible peut être utilisé (250, 400, 500 ou 600V). Il existe des fusibles pour la haute tension.

➤ **Courant de fusion I_f**

C'est la valeur spécifiée du courant qui provoque la fusion de la cartouche avant la fin du temps conventionnel.

➤ **Courant de non fusion I_{nf}**

C'est la valeur du courant qui peut être supporté par le fusible pendant un temps conventionnel sans fondre.

➤ **Pouvoir de coupure d'une cartouche fusible**

C'est le courant maximal qu'un fusible peut couper sans que la tension de rétablissement ne provoque un réamorçage de l'arc. Les fusibles possèdent de très hauts pouvoirs de coupure (de 80 à 170 kA).

➤ **Contraintes thermiques d'une cartouche fusible ($I^2 t$)**

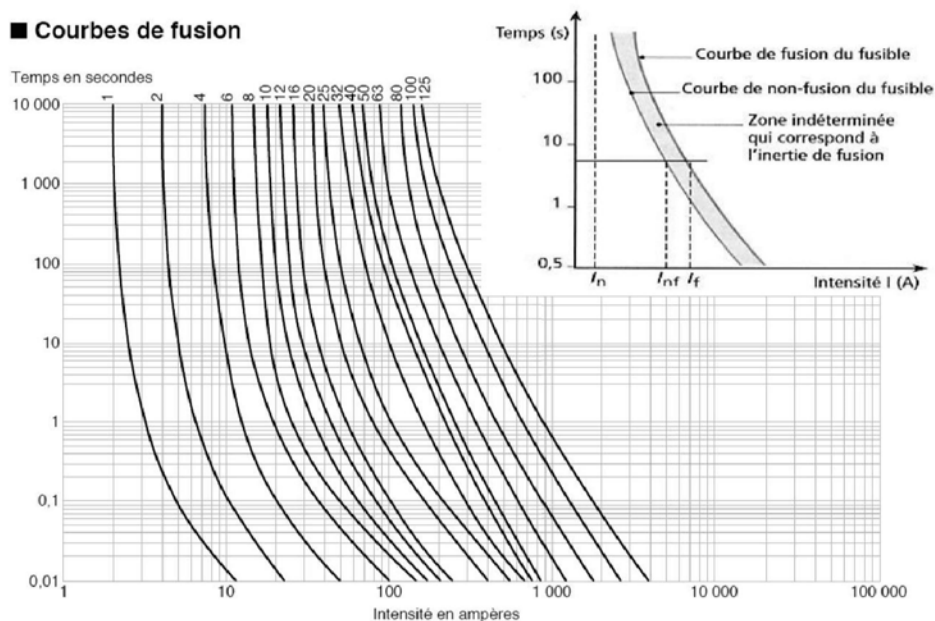
C'est l'énergie par unité de résistance nécessaire à la fusion du fusible. Cette contrainte thermique doit être inférieure à celle de l'installation à protéger.

➤ **Temps de pré-arc, temps d'arc et temps de coupure**

Le courant croît pendant un temps $T1$, c'est le temps de pré-arc, au bout duquel l'élément fusible entre en fusion. Dans ce cas, il se forme un arc à l'intérieur de la cartouche qui s'éteint au bout d'un temps $T2$ appelé temps d'arc. La durée de fonctionnement totale T est égale à la somme de la durée de pré-arc et de la durée d'arc soit le temps $T1+T2$. Si le courant de court circuit est suffisamment important, la durée de fonctionnement peut être inférieure à une demi période, sinon elle dure plusieurs périodes.

➤ **Caractéristiques temps/courant d'une cartouche fusible**

Les caractéristiques temps/courant expriment la durée réelle du pré-arc (en seconde) en fonction du courant efficace (en ampère) indiqué en multiple de l'intensité nominale.



Courbes de fusion des fusibles cylindriques de classe gG.

e. Les différents types et formes de fusible

Il existe principalement quatre types de fusibles :

1. Les fusibles gG

Les fusibles **gG** sont des fusibles dit « protection générale », protègent les circuits contre les faibles et fortes surcharges ainsi que les courts-circuits. Les inscriptions sont écrites en noir. L'image montre un fusible cylindrique.



2. Les fusibles aM

Les fusibles **aM** sont des fusibles dit « accompagnement moteur », protègent les circuits contre les fortes surcharges ainsi que les courts-circuits. Ils sont conçus pour résister à une surcharge de courte durée tel que le démarrage d'un moteur. Ils seront associés à un système de protection thermique contre les faibles surcharges. Les inscriptions sont écrites en vert. L'image montre un fusible à couteaux.



Remarque : Les fusibles **aM** n'étant pas prévus pour une protection contre les faibles surcharges, les courants conventionnels de fusion ou de non fusion ne sont pas fixés. Ils fonctionnent à partir de $4.I_n$ environ.

3. Les fusibles AD

Les fusibles **AD** sont des fusibles dits « accompagnement disjoncteur », ce type de fusibles est utilisé par les distributeurs sur la partie de branchement. Les inscriptions sont écrites en rouges.



4. Les fusibles UR

Les fusibles ultra-rapides (**UR**) assurent la protection des semi-conducteurs de puissance et des circuits sous tension continue.



f. Choix d'un fusible

Pour choisir un fusible, il faut connaître les caractéristiques du circuit à protéger :

- Circuit de distribution, fusibles gG;
- Circuit d'utilisation moteur, fusible aM.

Une protection par fusible peut s'appliquer à un départ (ligne) ou à un récepteur.

Le choix du fusible s'effectue sur les points suivants :

- La classe : gG ou aM.
- Le calibre I_n
- La tension d'emploi U (inférieure ou égale à nominale U_n)
- Le pouvoir de coupure P_{dc}
- La forme du fusible (cylindrique ou à couteaux)
- La taille du fusible

Par ailleurs, il faut vérifier que la contrainte thermique du fusible est bien inférieure à celle de la ligne à protéger : $I^2.t$ du fusible $<$ $I^2.t$ de la ligne.

g. Avantages et inconvénients d'un fusible

Avantages

- Coût peu élevé ;
- Facilité d'installation ;
- Pas d'entretien ;
- Très haut pouvoir de coupure ;
- Très bonne fiabilité ;

- Possibilité de coupure très rapide (UR).

Inconvénients

- Nécessite un remplacement après fonctionnement ;
- Pas de réglage possible ;
- Déséquilibre en cas de fusion d'un seul fusible sur une installation triphasée
- Surtension lors de la coupure.

2. Relais thermique

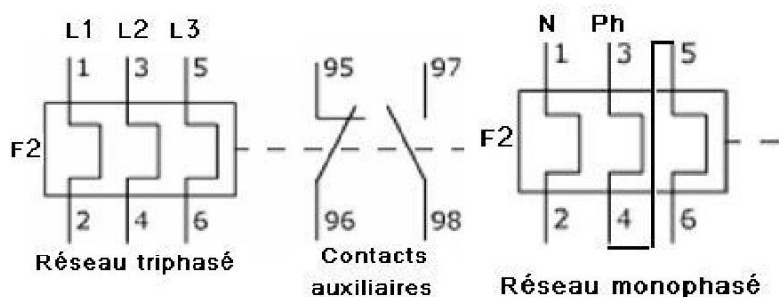
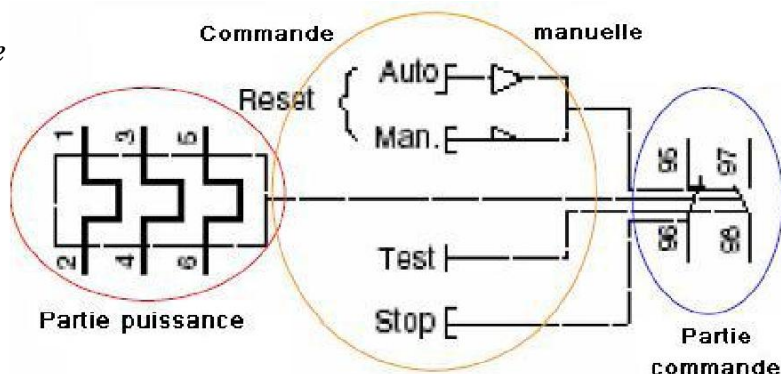
a. Rôle

Le relais thermique est un appareil qui protège le récepteur placé en *aval* contre les surcharges et les coupures de phase. Pour cela, il surveille en permanence le courant dans le récepteur.

En cas de surcharge, le relais thermique n'agit pas directement sur le circuit de puissance. Un contact du relais thermique ouvre le circuit de commande d'un contacteur est le contacteur qui coupe le courant dans le récepteur.

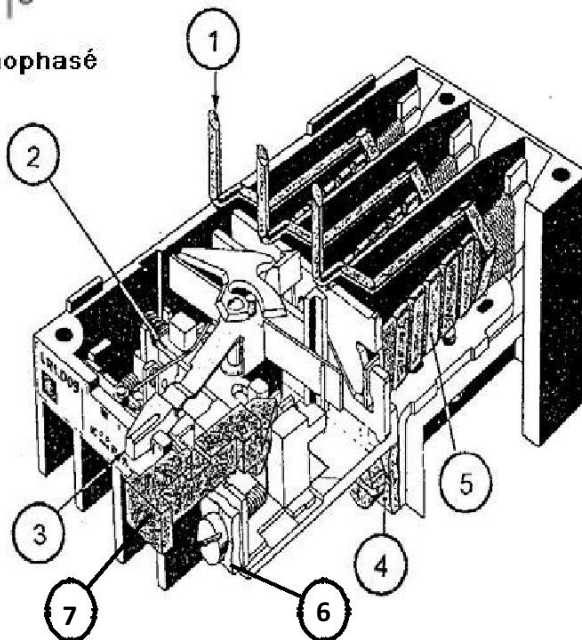


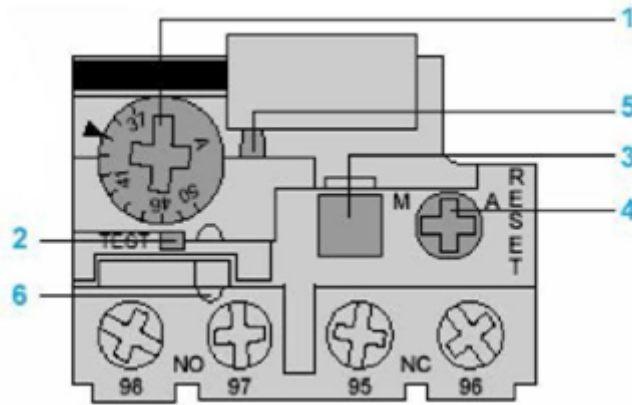
b. Symbole



c. Constitution

1	Arrivé du courant
2	Système de déclenchement
3	Réglage du calibre de déclenchement
4	Départ courant
5	Élément bimétallique
6	Contact auxiliaire
7	Bouton de réarmement

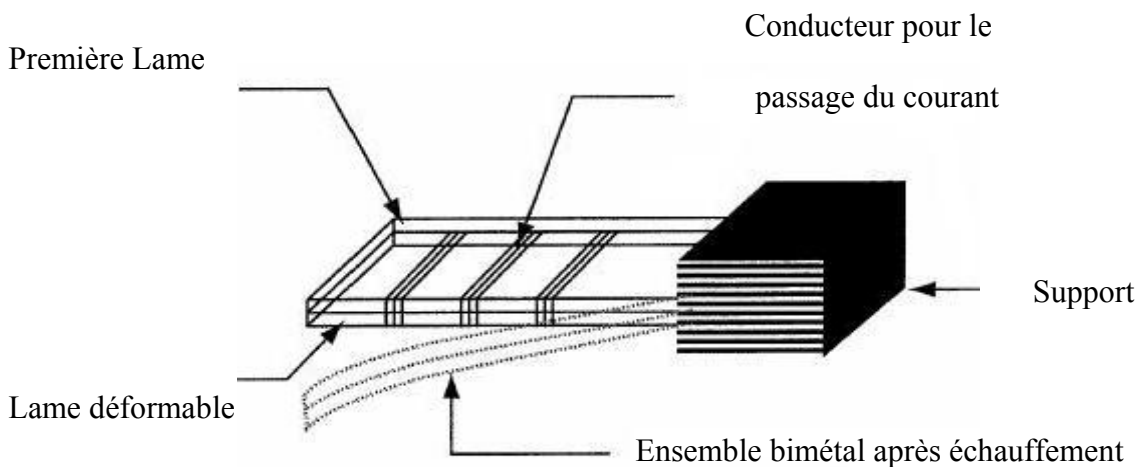




1	Bouton de réglage de Ir
2	Bouton Test : L'action sur le bouton Test permet: - le contrôle du câblage du circuit de commande - la simulation du déclenchement du relais (action sur les 2 contacts "O" et "F").
3	Bouton Stop. Il agit sur le contact "O" et est sans effet sur le contact "F"
4	Bouton de réarmement et sélecteur de choix entre réarmement manuel et auto.
5	Visualisation du déclenchement
6	Verrouillage par plombage du capot

d. Principe de fonctionnement

Le relais thermique utilise un bilame formé de deux lames minces de métaux ayant des coefficients de dilatation différents. Le bilame s'incurve lorsque sa température augmente. Pour ce bilame, on utilise un alliage de Ferronickel et de l'invar ((un alliage de Fer (64 %) et de Nickel (36 %) avec un peu de Carbone et de Chrome). Si le moteur est en surcharge, l'intensité I qui traverse le relais thermique augmente, ce qui a pour effet de déformer les trois bilames. Un système mécanique, lié aux bilames, assure l'ouverture du contact auxiliaire (NC 95-96).

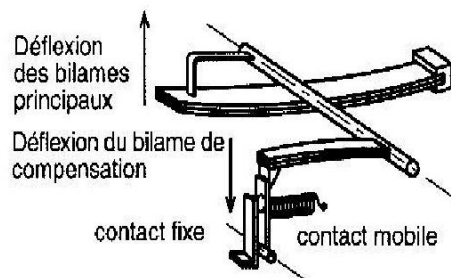


1. Principe du dispositif différentiel :

En cas de coupure de phase ou de déséquilibre sur les trois phases d'alimentation d'un moteur, le dispositif dit différentiel agit sur le système de déclenchement du relais thermique.

2. Principe de la compensation en température:

Afin d'éviter un déclenchement intempestif dû aux variations de la température ambiante, un bilame de compensation est monté sur le système principal du déclenchement. Ce bilame de compensation se déforme dans le sens opposé à celui des bilames principaux.

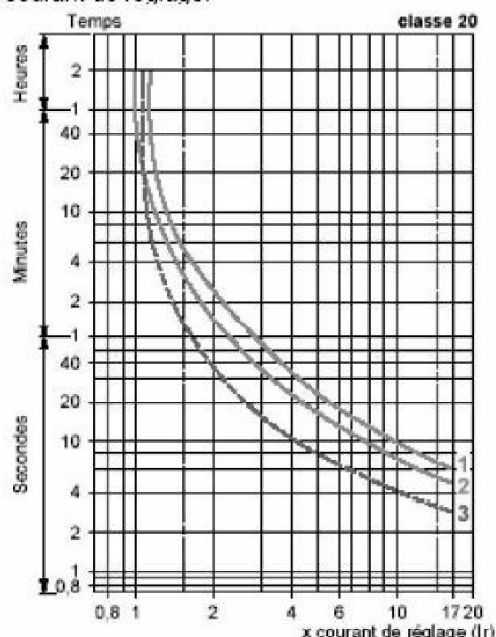
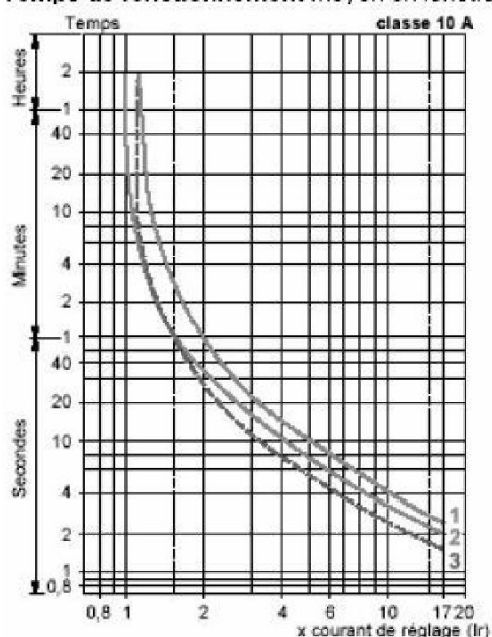


Principe de la compensation de la température ambiante

e. Courbe de déclenchement

C'est la courbe qui représente le temps de déclenchement du relais thermique en fonction des multiples de l'intensité de réglage.

Temps de fonctionnement moyen en fonction des multiples du courant de réglage.



- 1 Fonctionnement équilibré, 3 phases, sans passage préalable du courant (à froid).
- 2 Fonctionnement sur les 2 phases, sans passage préalable du courant (à froid).
- 3 Fonctionnement équilibré 3 phases, après passage prolongé du courant de réglage (à chaud).

f. Classes de déclenchement

Il existe quatre classes de relais thermique : 10 A, 10A, 20A, 30A.

Ces classes sont fonctions du temps de déclenchement à partir de l'état froid (pas de passage préalable de courant).

	1,05 Ir	1,2 Ir	1,5 Ir	7,2 Ir
Classe	Temps de déclenchement à partir de l'état froid			
10A	> 2 h	< 2 h	< 2 min	2 s ≤ tp ≤ 10 s
10	> 2 h	< 2 h	< 4 min	2 s ≤ tp ≤ 10 s
20	> 2 h	< 2 h	< 8 min	2 s ≤ tp ≤ 20 s
30	> 2 h	< 2 h	< 12 min	2 s ≤ tp ≤ 30 s

Ir : courant de réglage du relais thermique.

g. Choix d'un relais thermique

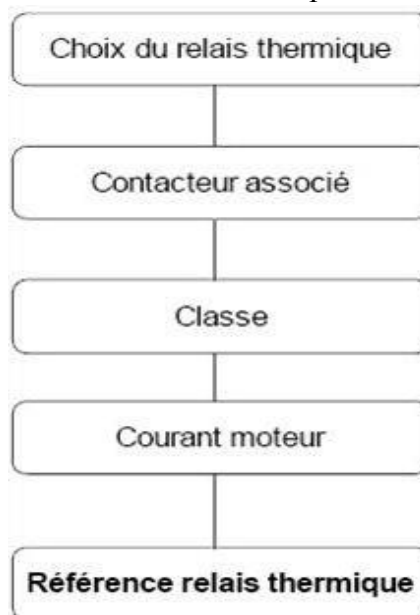
Le relais thermique se choisit en fonction de la classe désirée et/ou du courant nominal du récepteur à protéger. La classe est définie en fonction de la durée de déclenchement pour un courant de 7,2 fois le courant de réglage.

- **Classe 10A :**

Temps de déclenchement compris entre 2 et 10 s.

- **Classe 20 A :**

Temps de déclenchement compris entre 6 et 10 s.



Remarques :

Lorsqu'un contacteur est muni d'un relais thermique, l'ensemble constitue un discontacteur; Le relais thermique ne protège pas contre les courts-circuits ; Le relais thermique ne protège pas le moteur en cas de court-circuit, il ne le protège que contre les surcharges. Il faut donc prévoir un autre équipement, comme un sectionneur porte fusible équipé de fusibles de type aM, qui eux ne protègent pas le moteur contre une surcharge mais contre un court circuit; On peut également utiliser un «disjoncteur moteur» de type magnétothermique, qui lui assure les deux fonctions : magnétique (court-circuit) et thermique (surcharge).

Zone de réglage du relais	Fusibles à associer			Pour montage sous contacteur LC1, LP1	Référence	Masse
	aM	gl-gL	BS88			
A	A	A	A			kg
0,10 - 0,16	0,25	2	-	D09-D32	LR2 D13 01	0,165
0,16 - 0,25	0,5	2	-	D09-D32	LR2 D13 02	0,165
0,25 - 0,40	1	2	-	D09-D32	LR2 D13 03	0,165
0,40 - 0,63	1	2	-	D09-D32	LR2 D13 04	0,165
0,63 - 1	2	4	-	D09-D32	LR2 D13 05	0,165
1 - 1,6	2	4	6	D09-D32	LR2 D13 06	0,165
1,25 - 2	4	6	6	D09-D32	LR2 D13 X6	0,165
1,6 - 2,5	4	6	10	D09-D32	LR2 D13 07	0,165
2,5 - 4	6	10	16	D09-D32	LR2 D13 08	0,165
4 - 6	8	16	16	D09-D32	LR2 D13 10	0,165
5,5 - 8	12	20	20	D09-D32	LR2 D13 12	0,165
7 - 10	12	20	20	D09-D32	LR2 D13 14	0,165
9 - 13	16	25	25	D12-D32	LR2 D13 16	0,165
12 - 18	20	35	32	D18-D32	LR2 D13 21	0,165
17 - 25	25	50	50	D25-D32	LR2 D13 22	0,165
23 - 32	40	63	63	D25-D32	LR2 D23 53	0,320
28 - 36	40	80	80	D32	LR2 D23 55	0,320
17 - 25	25	50	50	D40-D95	LR2 D33 22	0,510
23 - 32	40	63	63	D40-D95	LR2 D33 53	0,510
30 - 40	40	100	80	D40-D95	LR2 D33 55	0,510
37 - 50	63	100	100	D50-D95	LR2 D33 57	0,510
48 - 65	63	100	100	D50-D95	LR2 D33 59	0,510
55 - 70	80	125	125	D65-D95	LR2 D33 61	0,510
63 - 80	80	125	125	D80-D95	LR2 D33 63	0,510
80 - 93	100	160	160	D95	LR2 D33 65	0,510

Tableau de références des relais thermiques selon les zones de réglage

Exemple 1 :

Un récepteur (moteur) absorbe un courant nominal de 25 A. Une surcharge apparaît. On mesure un courant de surcharge de 40 A.

1^{er} cas : pour une durée de surcharge de 10 s, est-ce que le relais thermique déclenche ?

2^{èm} cas : pour une durée de surcharge de 3 min, est-ce que le relais thermique déclenche ?

Exemple 2 :

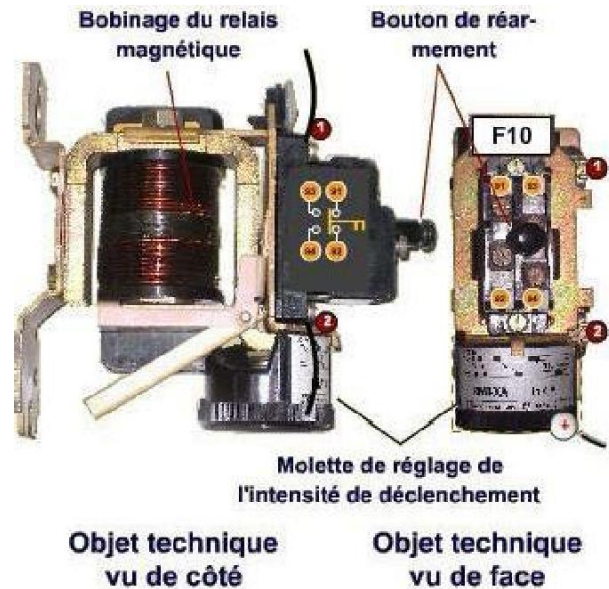
Un récepteur (moteur) absorbe un courant nominal de 25 A. Donnez la référence du relais thermique choisi.

3. Relais magnétique (électromagnétique)

a. Rôle

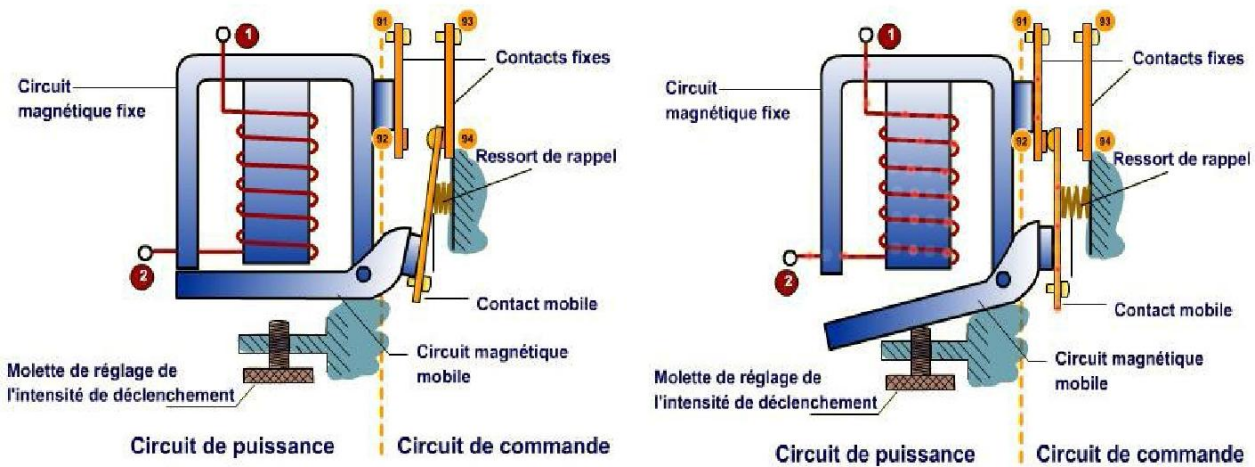
Le relais magnétique, encore appelé relais de protection à maximum de courant, est un relais unipolaire (un pour chaque phase d'alimentation) dont le rôle est de détecter l'apparition d'un court-circuit. Il s'ensuit qu'il n'a pas de pouvoir de coupure et que ce sont ses contacts à ouverture (91-92) et à fermeture (93-94) qui vont être utilisés dans le circuit de commande pour assurer l'ouverture du circuit de puissance du récepteur et signaler le défaut.

Ce relais est recommandé pour la protection des circuits sans pointe de courant ou au contrôle des pointes de démarrage des moteurs asynchrones à bagues.



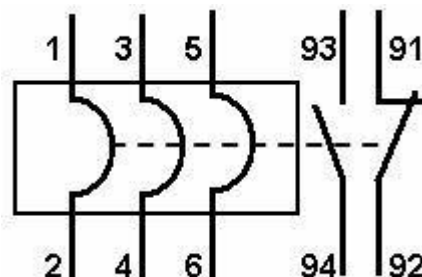
b. Principe de fonctionnement

En fonctionnement normal, le bobinage du relais magnétique est parcouru par le courant du court-circuit. En cas de forte surcharge ou de court-circuit, la force engendrée par le champ magnétique de la bobine devient supérieure à la force du rappel du ressort et le relais magnétique déclenche.



La raideur du ressort permet de régler pour quelle valeur du courant se produira la coupure. Le déclenchement est instantané avec un temps de réponse de l'ordre de milliseconde.

c. Symbole



d. Réglage

Le réglage de l'intensité de déclenchement s'obtient en faisant varier l'entrefer du relais à l'aide d'une vis (ou une molette) graduée directement en Ampères. Le choix du réglage doit tenir compte :

- De l'intensité du réglage en service permanent ;
- De la valeur du réglage qui doit être supérieure au courant et aux pointes normales.

4. Relais magnéto-thermique

C'est un déclencheur ou relais à maximum de courant qui fonctionne à la fois sous l'action d'un électro-aimant et sous l'effet thermique provoqué par le courant qui le parcourt. C'est l'association d'un relais magnétique et d'un relais thermique, le premier assurant la protection contre les surintensités brutales (déclenchement instantané), éventuellement les courts-circuits, le second contre les surcharges lentes (déclenchement retardé).

5. Discontacteurs

Le discontacteur est un contacteur équipé d'un relais thermique destiné à assurer la protection contre les surcharges.

Le discontacteur :

- Permet la commande à distance ;
- Réalise des systèmes automatiques ;
- Détecte toute coupure de l'alimentation ;
- Assure des verrouillages électriques ;
- Sépare le circuit de commande du circuit de puissance ;
- Protège les récepteurs contre les surcharges.

6. Le Disjoncteur Magnéto-thermique

a. Rôle

Un disjoncteur est un appareil de connexion électrique capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, ainsi que d'établir, de supporter pendant une durée spécifiée et d'interrompre des courants dans des conditions anormales spécifiées telles que celles du court-circuit ou de la surcharge. C'est un organe électromécanique, de protection, dont la fonction est d'interrompre le courant électrique en cas d'incident sur un circuit électrique. Il est capable d'interrompre un courant de surcharge ou un courant de court-circuit dans une installation. Suivant sa conception, il peut surveiller un ou plusieurs paramètres d'une ligne électrique. Sa principale caractéristique par rapport au fusible est qu'il est réarmable.



b. Principe

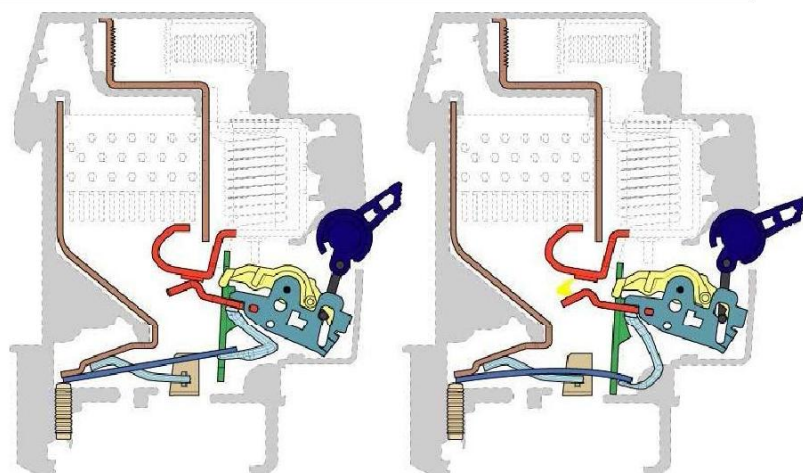
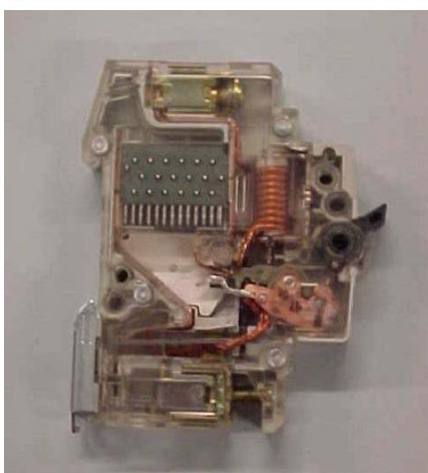
Le disjoncteur assure la protection des canalisations selon 2 principes:

- Thermique
- Magnétique



a. Principe thermique

Une lame bimétallique (bilame) est parcourue par le courant. Le bilame est calibré de telle manière qu'avec un courant nominal I_n , elle ne subisse aucune déformation. Par contre si des surcharges sont provoquées par les récepteurs, en fonction du temps, la lame va se déformer et entraîner l'ouverture du contact en 0,1sec au minimum.



Circuit fermé

Circuit en cours d'ouverture

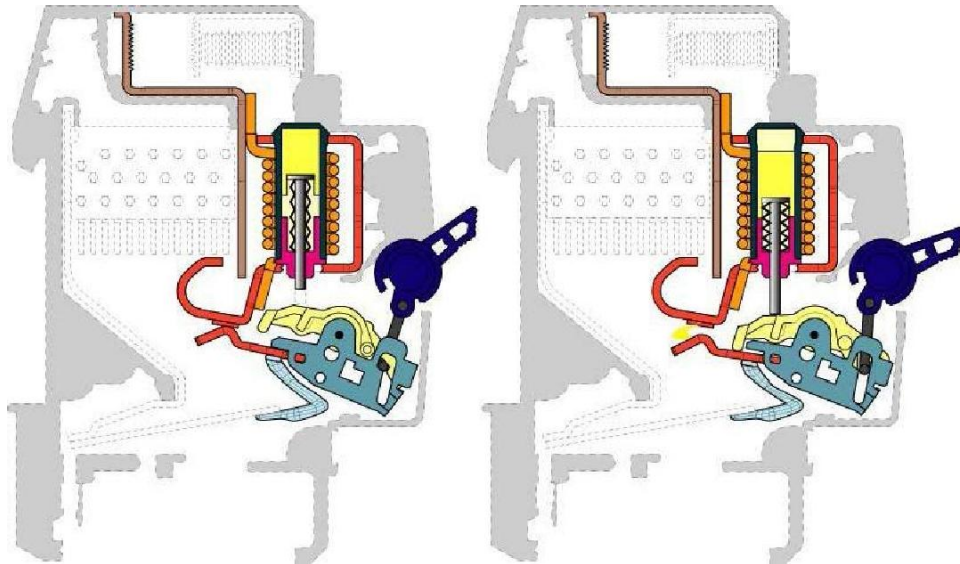
b. Principe magnétique

En service normal, le courant nominal circulant dans la bobine, n'a pas assez d'influence magnétique (induction magnétique) pour pouvoir attirer l'armature mobile fixée sur le contact

mobile. Le circuit est fermé.

Si un défaut apparaît dans le circuit aval du disjoncteur de canalisation, l'impédance du circuit diminue et le courant augmente jusqu'à atteindre la valeur du courant de court-circuit.

Dès cet instant, le courant de court-circuit provoque une violente aimantation de l'armature mobile. Cela a comme conséquence d'ouvrir le circuit aval du disjoncteur en 0,1sec au maximum.



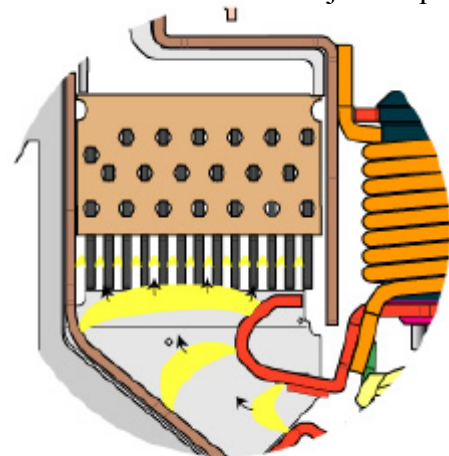
Fonctionnement NORMAL Après déclenchement sur Court-circuit

c. Chambre de coupure

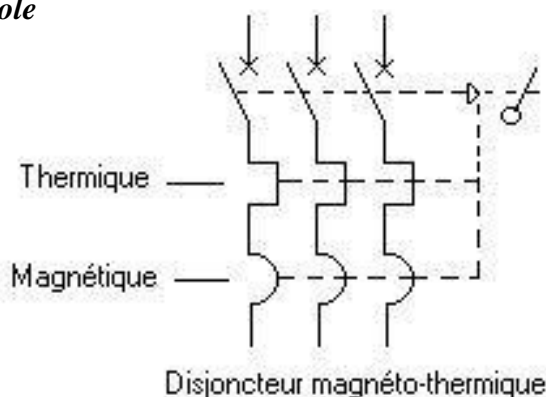
Le but de cette chambre est de couper le plus rapidement possible l'arc électrique qui se produit à l'ouverture du contact. Dès la séparation des contacts, l'arc est déplacé vers la chambre de coupure sous l'effet de la force dite de Laplace, induite par la géométrie des contacts fixe et mobile.

Au cours du trajet entre les contacts et la chambre, l'arc est canalisé entre deux joues qui permettent :

- d'augmenter sa vitesse de déplacement,
- de guider sa trajectoire,
- de l'allonger.



c. Symbole



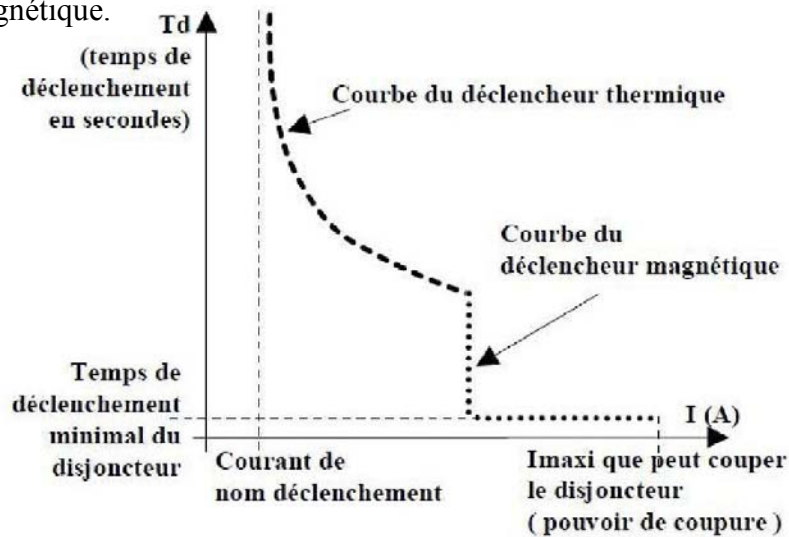
d. Caractéristiques et classification

Les principales caractéristiques électriques des disjoncteurs sont :

- La tension assignée d'emploi U_e qui représente la tension maximale de fonctionnement du disjoncteur,
- Le courant assigné I_n , encore appelé « calibre », qui correspond à la valeur maximum du courant que le disjoncteur peut supporter de manière permanente,
- le pouvoir de coupure ultime I_{cu} ou pouvoir de coupure nominal I_{cn} qui correspond à l'intensité maximale d'un courant de court-circuit théorique, que le disjoncteur est capable d'interrompre sans risque de destruction, il doit être supérieur au courant de court-circuit que l'on peut atteindre sur la ligne.
- L'aptitude au sectionnement qui garantit que le disjoncteur est capable d'assurer la séparation des circuits et qu'aucun courant résiduel dangereux ne peut circuler lorsque l'appareil est ouvert,
- Le pouvoir de limitation qui caractérise l'aptitude à ne laisser passer qu'une partie du courant lors d'un court-circuit,
- Le nombre de pôles coupés et le nombre de pôles protégés (4P, 3P,..): il est fonction du réseau et de la charge.
- Le modèle (modulaire, compact,..) : Le modèle est principalement imposé par I_n .

e. Courbe de déclenchement

C'est l'association de la courbe de déclenchement du relais thermique et de la courbe de déclenchement du relais magnétique.



Courbe de déclenchement du disjoncteur magnétothermique

Courbe B

Protection des générateurs, des lignes de grande longueur, où il n'y a pas de pointes de courant.

Réglage de I_m : 3 à 5 I_n .

Courbe C

Protection générale des circuits.

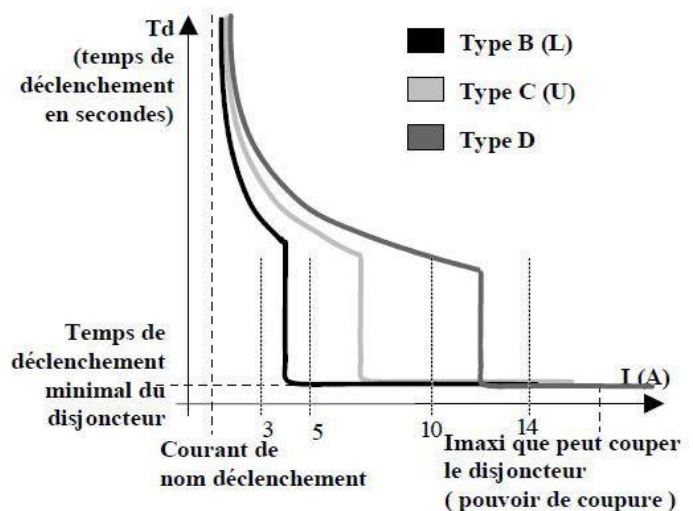
Réglage de I_m : 5 à 10 I_n .

Courbe D

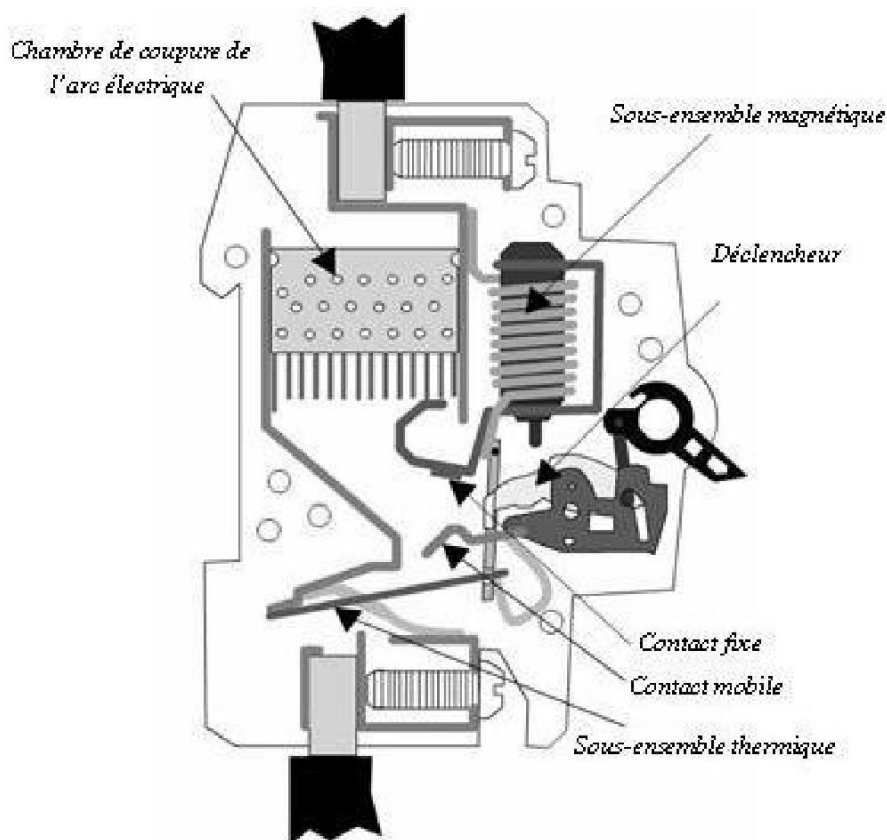
Protection des circuits à **fort courant d'appel** (primaires transformateurs BT/BT, moteurs,...).

Réglage de I_m : 10 à 14 I_n .

Le choix du type se fait en fonction du type d'installation (domestique, distribution, moteur ...).



f. Constitution



g. Différentes techniques utilisées par les disjoncteurs

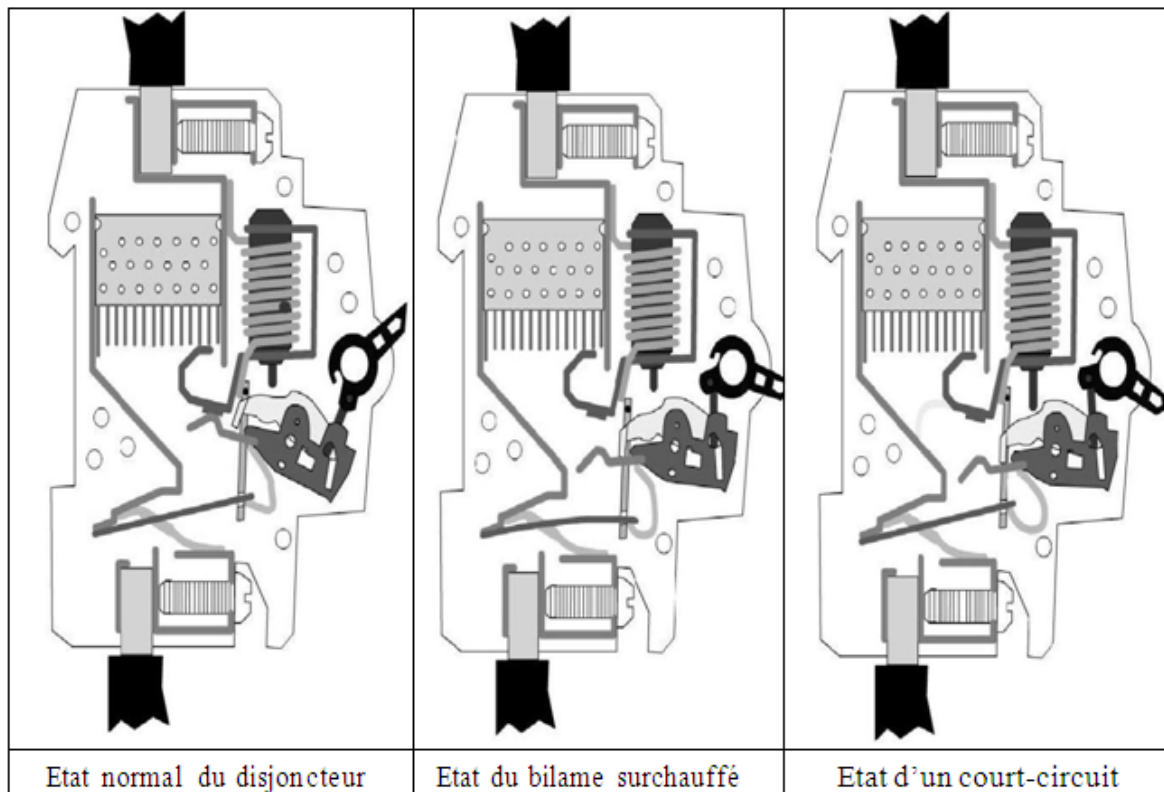
1. Thermique

Le courant traverse le disjoncteur où des spires de fil chauffent par effet Joule un bilame, si l'échauffement devient suffisamment important, le bilame se déclenche interrompant ainsi le courant. Ce système électromécanique est assez simple et robuste. Par contre, il n'est pas très précis et son temps de réaction est relativement lent. C'est l'une des fonctions classiquement remplie par un fusible gG (anciennement gl - usage général). La protection thermique a pour principale fonction la protection des conducteurs contre les échauffements dus aux surcharges prolongées de l'installation.

2. Magnétique

Un bobinage détecte le champ électromagnétique généré par le courant traversant le disjoncteur, lorsqu'il détecte une pointe de courant supérieur à la consigne, l'interruption est "instantanée" dans le cas d'une bobine rapide ou "contrôlée" par un fluide dans la bobine qui permet des déclenchements retardés. Il est généralement associé à un interrupteur de très haute qualité qui autorise des milliers de manoeuvres. Ce fonctionnement peut remplacer le fusible sur les courts-circuits ; Suivant le type de disjoncteur, la valeur d'intensité de consigne va de 3 à 15 fois l'intensité nominale (pour les modèles courants); C'est la fonction remplie par un fusible aM (protection des moteurs). La protection

magnétique a pour principale fonction la protection des équipements contre les défauts (surcharge de l'équipement, court-circuit, panne, ...). Il est choisi par l'ingénieur qui a le souci de protéger son équipement avec très grande précision.



3. Différentiel

Un disjoncteur différentiel est un interrupteur différentiel réalisant également une protection en courant de court-circuit (surcharge). Le principe d'un dispositif différentiel à courant résiduel (DDR) est de comparer les intensités sur les différents conducteurs qui le traversent.

Par exemple, en monophasé, il compare l'intensité circulant dans le conducteur de celle du conducteur de neutre. C'est un appareil de protection des personnes et de détection des courants de fuite à la terre de l'installation électrique.

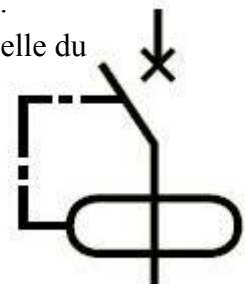
Le dispositif différentiel est basé sur le principe suivant : dans une installation normale, le courant électrique qui arrive par un conducteur doit ressortir par un autre.

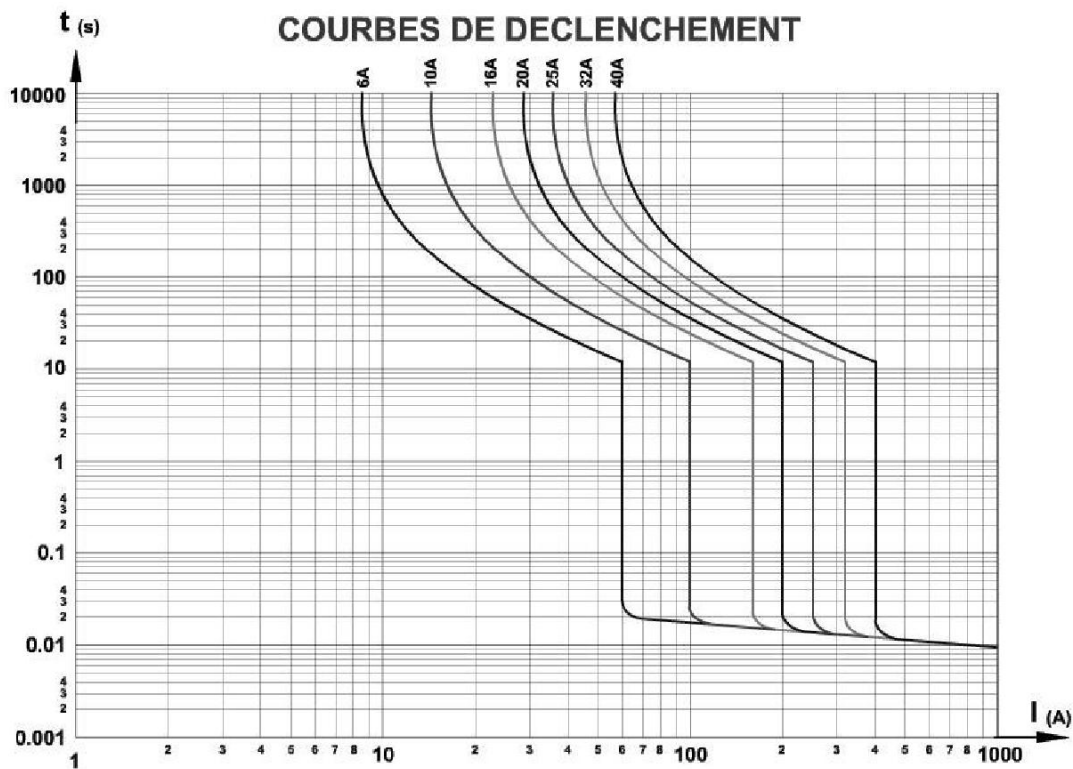
Dans une installation monophasée, si le courant dans le conducteur de phase au départ d'un circuit électrique est différent de celui du conducteur neutre, c'est qu'il y a une différence d'intensité du courant à laquelle réagit un disjoncteur est appelée la "sensibilité différentielle du disjoncteur" (obligatoirement 30 mA sur les circuits terminaux domestiques), noté $I\Delta n$ ($I \text{ delta } n$)

Son fonctionnement est très simple : chaque conducteur passe dans un tore magnétique, formant ainsi des champs électromagnétiques de force identique et en opposition qui s'annulent. En cas de différence, d'où son nom de différentiel, le champ électromagnétique résultant actionne un dispositif qui coupe immédiatement le courant.

On doit avoir donc :

Monophasé, triphasé sans neutre, triphasé avec neutre.





h. Différentes types de disjoncteurs



Disjoncteur divisionnaire La tendance est au remplacement des fusibles sur les tableaux de distribution d'abonnés par des disjoncteurs magnétothermiques



Disjoncteur de distribution BT Pour la commande et la protection des circuits de moteurs et de distribution, il existe deux types de construction de disjoncteurs



Les disjoncteurs sur châssis métallique de 800A à 6300A Ils sont le plus souvent à commande motorisée et munis de relais de protection électroniques.

1. Disjoncteur divisionnaire (domestique)

La tendance est au remplacement des fusibles sur les tableaux de distribution d'abonnés par des disjoncteurs magnéto-thermiques qui assurent la protection des lignes et des appareils d'utilisation.

Caractéristiques :

Réseau 220-380 V, pouvoir de coupure : 6000 A.

Calibres : 10-15-20-25-32 A.

2. Disjoncteur industriel BT

Pour la commande de la protection des circuits de moteurs et de distribution, il existe deux types de construction de disjoncteurs.

a) Les disjoncteurs sous boîtier moulé de 32 à 1250 A

La commande de ces disjoncteurs est en général manuelle, ils sont équipés de relais thermiques magnétiques ou magnétothermiques.

b) Les disjoncteurs sur châssis métallique

La commande de ces disjoncteurs peut être manuelle ou électrique. Les déclencheurs peuvent être magnétiques, thermiques ou magnétothermiques.

Caractéristiques :

Courant nominal thermique : 800 à 6300 A.

Pouvoir de coupure sous 500 V : 70000 A.

Pouvoir de fermeture : 175000 A.

Déclencheurs magnétothermiques réglés de 8 à 9 In.

3. Disjoncteur moyenne tension MT

Ils sont destinés à la protection des réseaux de distribution, et des postes de transformation, ils vont de 3 à 36 kV, ils sont réalisés soit avec coupure dans l'air, soit ils utilisent le gaz hexafluorure de soufre (*SF6*) pour l'isolement et la coupure.

4. Disjoncteur haute tension HT

Après la construction des disjoncteurs à gros puits à faible volume d'huile, et le disjoncteur à air comprimé, la nouvelle génération des disjoncteurs *HT* utilisent *SF6*. Selon la tension un pôle de disjoncteur est constitué d'une ou plusieurs chambres de coupure.

i. Techniques de coupure pour disjoncteurs

Il y a des différentes techniques utilisées par le disjoncteur comme :

Les disjoncteurs à l'huile

Les disjoncteurs à air comprimé

Les disjoncteurs au gaz *SF6*

Les disjoncteurs à vide (coupure dans le vide).

Chapitre V

ELABORATION DES SCHEMAS ELECTRIQUES

1. Normalisation

Le schéma électrique est un moyen de représentation des circuits et des installations électriques, c'est donc un langage qui doit être compris par tous les électriciens. Pour cette raison, il faut respecter des règles de représentation. Elles sont classifiées dans des normes internationales.

L'objectif de telle normalisation internationale est d'arriver à un langage commun entre les électriciens qui facilite l'écriture, la lecture et la compréhension des schémas électriques. La commission électrotechnique internationale (CEI), appelée aussi IEC (International Electrotechnical Commission). Créée en 1906, prépare des normes applicables à l'électricité et l'électronique.

2. Schéma électrique

Un schéma électrique représente, à l'aide de symboles graphiques, les différentes parties d'un réseau, d'une installation ou d'un équipement qui sont reliées et connectées fonctionnellement.

Un schéma électrique a pour but :

- d'expliquer le fonctionnement de l'équipement (il peut être accompagné de tableaux et de diagrammes),
- de fournir les bases d'établissement des schémas de réalisation,
- de faciliter les essais et la maintenance.

3. Classification des schémas

3.1. Classification selon le but envisagé

a. Schéma fonctionnel:

C'est un schéma explicatif relativement simple, destiné à faire comprendre le fonctionnement d'une installation ou une partie d'installation, par des symboles ou par des figures simples.

b. Schéma des circuits (de principe):

C'est un schéma explicatif destiné à faire comprendre en détail le fonctionnement d'une installation ou une partie d'installation. Ce type tient compte des connections électriques et des liaisons qui interviennent dans l'installation.

c. Schéma d'équivalence:

C'est un schéma explicatif particulier nécessaire à l'analyse et aux calculs des caractéristiques d'un élément de circuit ou d'un circuit.

d. Schéma de réalisation:

C'est un schéma destiné à guider la réalisation et la vérification des connexions d'une installation ou d'un équipement; ces connections peuvent être intérieures à l'équipement ou extérieures aux différentes parties de l'équipement ou l'installation.

3.2. Classification selon le mode de représentation

La mise en forme d'un schéma doit tendre vers un objectif de simplification graphique. L'utilisation de ce même schéma doit répondre à un besoin d'information technologique par

fois très important. Ces deux facteurs, apparemment contradictoires imposent le choix du mode de représentation graphique le mieux adapté à la nature du problème posé et à la qualification professionnelle de l'utilisateur. Trois facteurs caractérisent le mode de représentation :

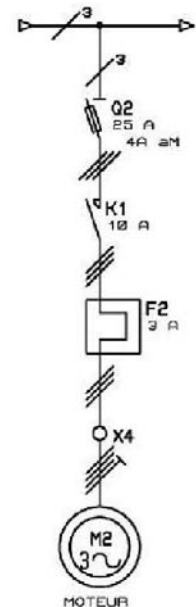
- ✓ Le nombre de conducteurs;
- ✓ L'emplacement des symboles;
- ✓ La représentation topographique.

3.2.1. Nombre de conducteurs:

Selon le nombre de conducteurs, d'appareils ou éléments représentés par un symbole, on distingue :

a) La représentation unifilaire:

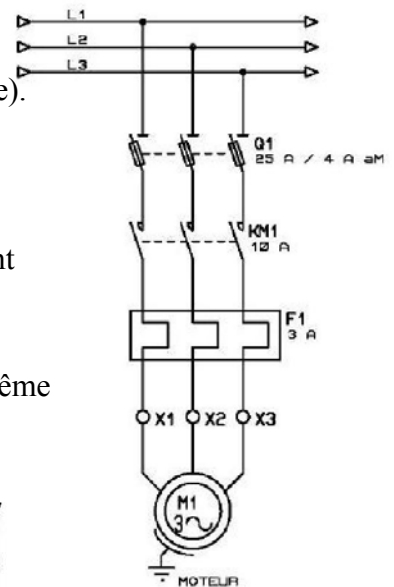
Deux ou plus de deux conducteurs sont représentés par un trait unique. On indique sur ce trait le nombre de conducteurs en parallèle. Cette représentation est surtout utilisée en triphasé.



b) Représentation multifilaire:

Chaque conducteur est représenté par un trait.

Exemple : démarrage direct d'un moteur triphasé (circuit de puissance).

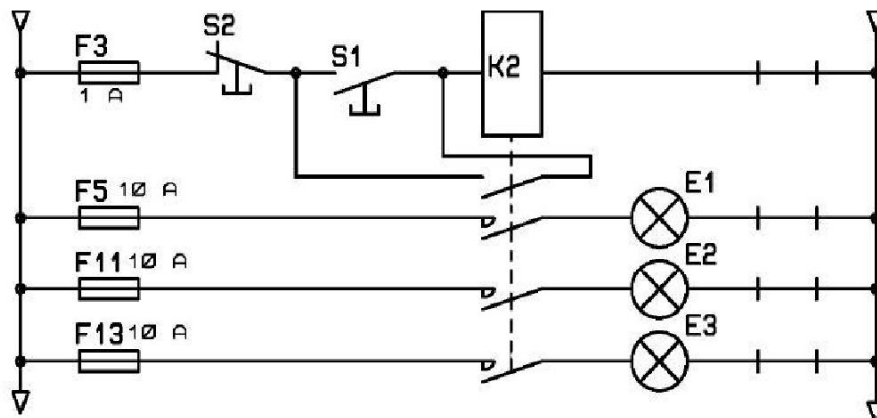


3.2.2. Emplacement des symboles:

Selon l'emplacement relatif sur le schéma des symboles correspondant au matériel ou élément, on distingue :

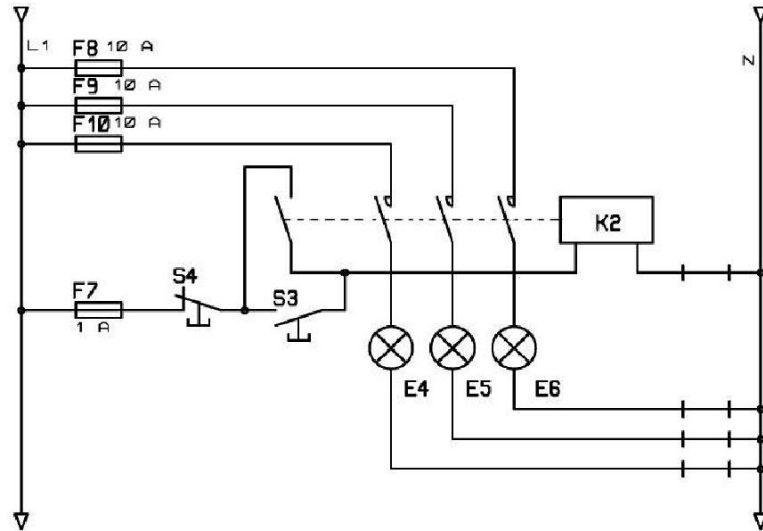
a) La représentation assemblée

Les symboles des différents éléments d'un même appareil, ou d'un même équipement, sont représentés juxtaposés sur le schéma.



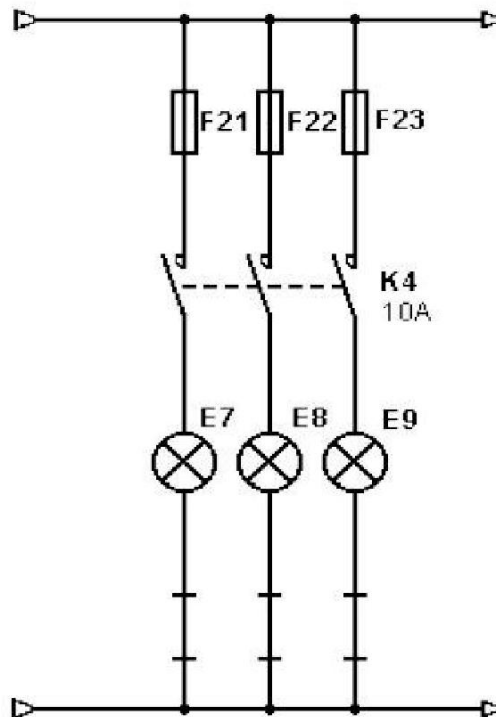
b) La représentation rangée

Les symboles des différents éléments d'un même appareil, ou d'une même installation sont séparés et disposés de façon que l'on puisse tracer facilement les symboles des liaisons mécaniques entre différents éléments qui manœuvrent ensemble.



c) La représentation développée

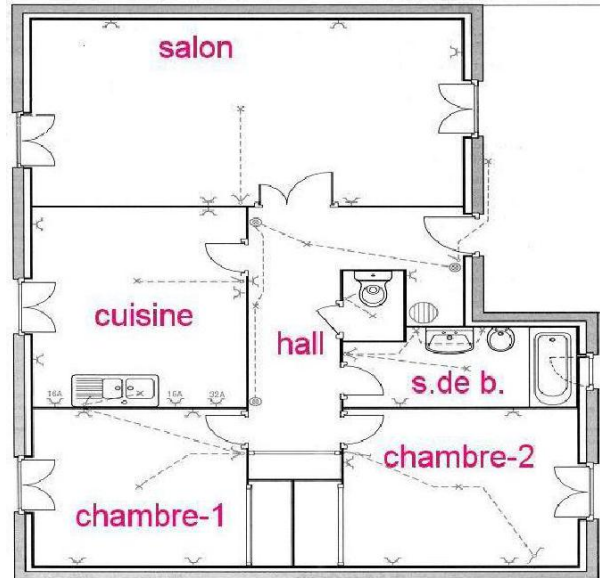
Les symboles des différents éléments d'un même appareil ou d'une même installation sont séparés et disposés de manière que le tracé de chaque circuit puisse être facilement suivi. C'est la tendance actuelle dans tous les schémas de commandes.



d) La représentation topographique

La représentation des symboles rappelle la disposition réelle des matériels dans l'espace.

Exemple: schéma architecturaux, plan ou schéma d'implantation.



4. Identification des éléments

4.1. Définition

On désigne par élément un tout indissociable, par exemple un contacteur, un sectionneur ou un bouton-poussoir.

4.2. Principe d'identification

A

B

C

Sorte de l'élément	Fonction	Numéro de l'élément
--------------------	----------	---------------------

a. Identification de la sorte d'élément

Les éléments sont identifiés à l'aide de lettre repère (sur la partie A). Exemple : Une bobine de contacteur : K, Un bouton poussoir : S.

Tableau des lettres repères pour l'identification des sortes d'éléments

Repère	Sorte d'élément	Exemple
A	Ensemble ou sous-ensemble fonctionnel	Amplificateur
B	Transducteur d'une grandeur non électrique en une grandeur électrique ou vice versa	Couple thermo-électrique, cellule photo-électrique...
C	Condensateurs	
D	Opérateur binaire, dispositifs de temporisation ou de mise en mémoire	Opérateur combinatoire, ligne à retard, bascule bistable, monostable, mémoire magnétique...
E	Matériel divers	Eclairage, chauffage, éléments non spécifiés dans ce tableau.
F	Dispositifs de protection	Coupe-circuit, limiteur de surtension, parafoudre...
G	Générateurs (dispositifs d'alimentation)	Génératrice, alternateur, batterie
H	Dispositifs de signalisation	Avertisseur lumineux ou sonores.
K	Relais et contacteurs	
L	Inductances	Bobine d'induction, bobine de blocage.
M	Moteurs	
P	Instrument de mesure, dispositifs d'essai.	Appareil indicateur, appareil enregistreur.
Q	Appareils mécaniques de connexion pour circuit de puissance.	Disjoncteur, sectionneur.
R	Résistances	Potentiomètre, rhéostat, shunt, persistance.
S	Appareils mécaniques de connexion pour circuit de commande .	Boutons poussoirs, interrupteur fin de course, sélecteur...
T	transformateur	
U	Modulateur, convertisseur.	Convertisseur de fréquence, convertisseur redresseur, onduleur autonome.
X	Bornes, fiches, socles.	
Y	Appareils mécaniques actionnés électriquement.	Frein, embrayage, électrovalve pneumatique.

b. Identification de la fonction de l'élément

Le repère choisi doit commencer par une lettre (partie B) qui peut être suivie des lettres et/ou chiffres complémentaires nécessaires (partie C). Le code utilisé doit être explicite.

Exemple: la protection par relais thermique F1 pourra être identifiée fonctionnellement par Rth1(KA1 pour un contacteur auxiliaire).

Tableau des repères d'identification fonctionnelle

Repère fonctionnel	Légende	Repère fonctionnel	Légende
AL	Alarme	FE	Fermeture
Auto	Automatique (mode)	FR	Freinage
AR	Arrière	GA	Gauche
AT	Arrêt	GV	Grande vitesse
AV	Avant	HA	Haut
BA	Bas	HS	Hors service
CA	Courant alternatif	I	Courant
CC	Courant continu	L	Ligne d'alimentation
D	Triangle (couplage)	MA	Marche
Dcy	Départ cycle	Manu	Manuel (mode)
DE	Descente	MI	Minimum
DM	Démarrage	MO	Montée
DR	Droite	MX	Maximum
EA	Eau	NO	Normal
ES	En service	OU	Ouverture
EX	Excitation	P	Puissance
FC	Fin de course	PV	Petite vitesse
+	Augmentation	SY	Synchronisation
-	Diminution	U	Tension
INC	Incrémentation	Y	Etoile (couplage)
DEC	Décrémentation	W	Vitesse angulaire

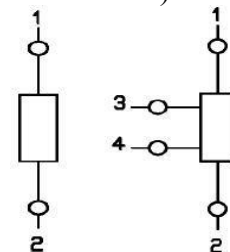
c. Identification des bornes d'appareils

Il est fondé sur une notation alphanumérique employant des lettres majuscules et des chiffres arabes. Les lettres I et O ne doivent pas être utilisées (pour éviter les confusions I 1 et O 0).

4.3. Principe de marquage des bornes

a. Pour un élément simple

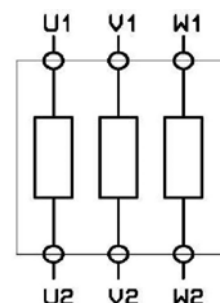
Les deux extrémités d'un élément simple sont distinguées par des nombres de référence successifs, par exemple 1 et 2. S'il existe des points intermédiaires à cet élément, on les distingue par des nombres supérieurs en ordre normalement croissant à ceux des extrémités.



b. Pour un groupe d'élément

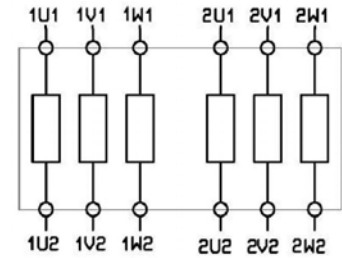
Pour un groupe d'éléments semblables, les extrémités des éléments seront désignées par des lettres de référence qui précéderont les nombres de référence indiqués au paragraphe (a).

Exemple : U, V, W pour les phases d'un système alternatif triphasé.



c. Pour plusieurs groupes semblables

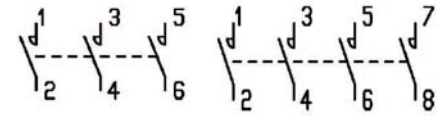
Pour plusieurs groupes semblables d'éléments ayant les mêmes lettres de référence, on les distingue par un préfixe numérique devant les lettres de référence.



4.4. Principe de marquage des contacts

a. Contacts principaux

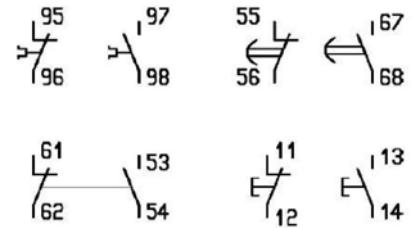
Les bornes (contacteurs, sectionneurs, disjoncteurs et relais de protection contre les surcharges) sont repérées par un seul chiffre de 1 à 6 (tripolaire), de 1 à 8 (tétrapolaires).



b. Contacts auxiliaires

Ils sont repérés par un nombre de deux chiffres. Le chiffre des unités indique la fonction du contact :

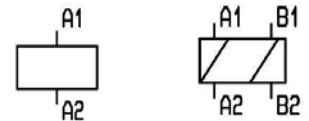
- 1-2, contact à ouverture ;
- 3-4, contact à fermeture ;
- 5-6, 7-8, contacts à fonctionnement spécial.



Le chiffre des dizaines indique le numéro d'ordre de chaque contact auxiliaire de l'appareil.

c. Organe de commande

Les repères sont alphanumériques, la lettre étant placée en première position : on utilise A1 et A2 pour une bobine de commande d'un contacteur. On utilise A1-A2 et B1-B2 pour une bobine de commande d'un contacteur à deux enroulements.



d. Marquages particuliers

Ils concernent les bornes raccordées à des conducteurs bien définis : Voir tableau suivant.

Bornes d'appareil pour		Marquage	
		Notation alpha-numérique	Symbole graphique
Système alternatif	Phase 1	U	
	Phase 2	V	
	Phase 3	W	
	Neutre	N	
Conducteur de protection		PE	
Terre		E	
Terre sans bruit		TE	
Masse (platine, châssis)		MM	

Tableau des marquages particuliers des bornes d'appareil

5. Repérage des conducteurs sur les schémas

Le repérage individuel des conducteurs est généralement nécessaire pour un schéma des connexions, pour un schéma explicatif détaillé et pour un schéma général des connexions. Le repérage peut être fixé lors de l'étude du schéma ou dans les cas simples, choisi lors de la pose des conducteurs ; on doit alors reporter les repères sur le schéma ou sur un document annexe.

a. Repérage dépendant

Le repère du conducteur reproduit les marques des bornes ou des équipements auxquelles les deux extrémités de ce conducteur doivent être raccordées.

b. Repérage indépendant

Il utilise le même repère généralement simple tout le long du conducteur. Généralement un schéma ou un tableau de connexions doit être employé.

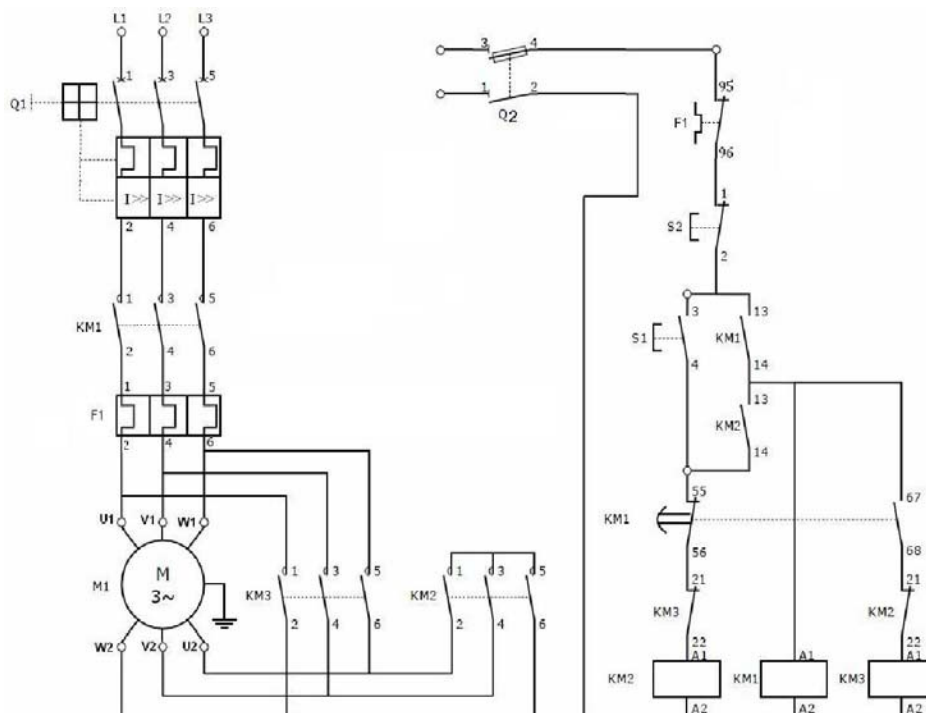
c. Repérages particuliers

Désignation des conducteurs		Marquage	
		Notation alpha-numérique	Symbole graphique
Système d'alimentation alternatif	Phase 1	L1	
	Phase 2	L2	
	Phase 3	L3	
	Neutre	N	
Systèmes continu	Positif	L+	+
	Négatif	L-	-
	Médian	M	-
Conducteur de protection		PE	
Conducteur de protection non mis à la terre		PU	
Conducteur de protection et conducteur neutre confondus		PEN	
Terre		E	
Terre sans bruit		TE	

Tableau des marquages des conducteurs particuliers

d. Méthode de repérage en schéma développé

Les circuits élémentaires peuvent être disposés verticalement ou horizontalement. Sur un schéma développé, chaque symbole d'un élément doit être repéré de façon à pouvoir situer tous les éléments d'un appareil (voir le schéma ci-dessous).



6. Détermination de la section minimale des conducteurs

Ce cours permet de déterminer la section des conducteurs de phase d'un circuit. Une section bien dimensionnée permettra :

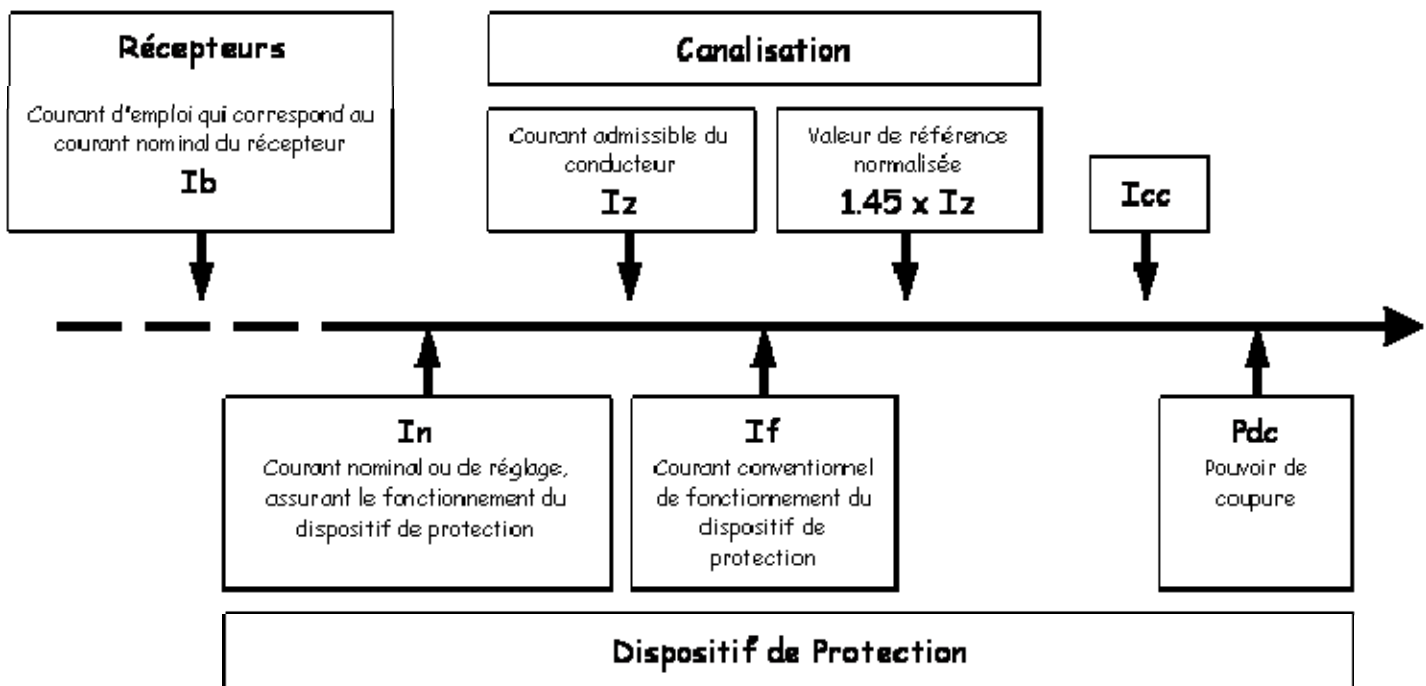
- Un échauffement normal de l'âme conductrice du conducteur afin de garder les propriétés de l'isolant.
- Une chute de tension inférieure définie par la norme.
- Une tenue au courant de court-circuit, ICC (**I**ntensité **C**ourt-**C**ircuit).

6. 1- Environnement et Mode de pose

Les dispositifs de protection doivent être prévus pour interrompre tout courant de surcharge dans les conducteurs avant qu'il ne puisse provoquer un échauffement nuisible (des isolants, des connections, des canalisations...).

Pour cela, on définit les courants suivants :

- *Le courant d'emploi I_b* . Il correspond au courant nominal du récepteur.



Le courant de fusion I_f : c'est le courant assurant le fonctionnement du dispositif de protection.

- pour les disjoncteurs, au courant de fonctionnement dans le temps conventionnel :

NFC 61-41 Disjoncteur Domestiques : $I_f \sim 1.45 I_{rth}$

NFC 63-120 Disjoncteur Industrielle : $I_f \sim 1.3 I_{rth}$

Où $I_{rth} = I_n$, c'est le réglage du dispositif de protection.

- pour le fusible, au courant de fusion dans le temps conventionnel : NFC61-201 et NFC63-210

Fusibles : I_f est élevé

Calibre	If
$I_n \leq 10A$	$1.9 I_n$
$10A < I_n \leq 32A$	$1.75 I_n$
$I_n \geq 32A$	$1.6 I_n$

Le *courant admissible* I_z : c'est le courant admissible maximal que pourra véhiculer un conducteur sans échauffement. Le courant admissible I_z dans la canalisation dépendra, dans un premier temps du dispositif de protection.

$I_z = k \times I_n$ avec : I_z courant admissible dans la canalisation ;

I_n courant nominal ou de réglage de la protection

K coefficient dépendant du dispositif de protection

On applique un coefficient k pour déduire le calibre du dispositif de protection à partir du courant admissible de la canalisation.

- Coefficient k pour les fusibles :

Calibre fusible	Coefficient k
$I_n \leq 10A$	1.31
$10A < I_n \leq 32A$	1.21
$I_n \geq 32A$	1.1

Exemple :

Pour un fusible gG de 16A $\rightarrow k = 1.21$ donc : $I_z = 1.21 \times 16$ soit $I_z = 19.36 A$

- Coefficient k pour les disjoncteurs :

Dans la pratique $k = 1$

Type	Calibre Disjoncteur	Coefficient k
Petits disjoncteurs	$I_n < 100A$	1.45
Disjoncteur à usage général	$I_n \leq 63A$	1.35
	$I_n > 63A$	0.86

Exemple :

Pour un petit disjoncteur de 63A $\rightarrow k = 1.45$ donc : $I_z = 1.45 \times 63$ soit $I_z = 91.35 A$

La protection contre les surcharges est assurée lorsque les conditions suivantes sont remplies :

$I_b \leq I_n \leq I_z$ et $I_f \leq 1.42 I_z$

La section d'un conducteur dépend donc du type de protection mais surtout de l'environnement dans lequel il est posé. Comme un courant circulant dans un conducteur produit de l'énergie

thermique (loi de joule) $W = R i^2 t$, Cette énergie thermique produit une élévation de température dans l'âme du conducteur mais aussi dans l'isolant.

6. 2. Démarche pour le calcul de la section des conducteurs de phases

Pour obtenir la section de conducteur de phase, il faut déterminer:

- *Le mode de pose de la canalisation* suivant une méthode de référence : A, B, C, D, E ou F. Exprimé par le facteur K1. Ce facteur de correction K1 permet de prendre en compte la dissipation thermique du mode de pose car les conducteurs chauffent. Cette chaleur doit être dissipée pour garder les propriétés des isolants (voir tableau facteur de correction K1).

Deux autres facteurs de corrections :

- *Le groupement de câble K2* : puisque la dissipation thermique d'un câble va provoquer l'échauffement du câble jointif (voir tableau facteur de correction K2).

- *La température ambiante K3* : voir tableau facteur de correction K3.

On en déduit le courant admissible calculé I_z , dont on choisira une valeur normalisée supérieure à celle calculée dans le tableau détermination de la section minimale.

$$I_z = \frac{I_b}{K_p \times K_t \times K_g} = \frac{I_b}{K}$$

Avec : K est l'ensemble des facteurs de correction $K = K_p \times K_t \times K_g$.

- Lettre de sélection

type d'éléments conducteurs	mode de pose	lettre de sélection
conducteurs et câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ■ sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré ■ sous vide de construction, faux plafond ■ sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles 	B
	<ul style="list-style-type: none"> ■ en apparent contre mur ou plafond ■ sur chemin de câbles ou tablettes non perforées 	C
câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ■ fixés en apparent, espacés de la paroi ■ câbles suspendus 	E
câbles monoconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ■ fixés en apparent, espacés de la paroi ■ câbles suspendus 	F

- Facteur de correction K1

lettre de sélection	cas d'installation	K1
B	■ câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants	0,70
	■ conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants	0,77
	■ câbles multiconducteurs	0,90
C	■ vides de construction et caniveaux	0,95
	■ pose sous plafond	0,95
B, C, E, F	■ autres cas	1

- Facteur de correction K2

lettre de sélection	disposition des câbles jointifs	facteur de correction K2											
		nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C	encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
C	simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,70		
	simple couche au plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61		
E, F	simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou tablettes verticales sur des tablettes	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72		
	simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78		

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, appliquer en plus un facteur de correction de :

- 0,80 pour deux couches
- 0,73 pour trois couches
- 0,70 pour quatre ou cinq couches

- Facteur de correction K3

températures ambiantes (°C)	isolation		
	élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,93	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	–	0,61	0,76
60	–	0,50	0,71

- **Détermination de la section minimale** : (voir le tableau de la page suivante)

Exemple :

Un câble PR triphasé est tiré sur un chemin de câble perforé, conjointement avec 3 autres circuits constitués :

- D'un câble triphasé (1^{er} circuit)
- De 3 câbles unipolaires (2^e circuit)
- De 6 câbles unipolaires (3^e circuit) : ce circuit est constitué de 2 conducteurs par phase.

Il aura donc un regroupement de 5 circuits triphasés dont la température ambiante est de 40 °C. Le câble PR véhicule 23A par phase.

Réponse :

Méthode E, le mode de pose est sur chemin perforé.

K1 = 1, Il est sur chemin perforé et il y a la lettre E.

K2 = 0.75, Il y a 5 circuits, la lettre de sélection est la lettre E et le mode de pose est sur chemin perforé.

K3 = 0.91, La température ambiante est de 40 °C et l'isolation est en PR.

$$K = K1 \times K2 \times K3$$

Ib = 23A, on rappelle que Ib est le courant d'emploi traversant le circuit. Ce qui implique :

$$Iz = Ib/K = \frac{Ib}{Kp \times Kg \times Kt} = \frac{23}{1 \times 0.75 \times 0.91} = 33.7A$$

On choisira une valeur normalisée supérieure à 33.7A dans le tableau détermination de la section minimale.

La valeur choisie est de 42A d'où une section de **4 mm²** (Lettre de sélection E, matière PR, triphasé 3).

		isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)								
		caoutchouc ou PVC			butyle ou PR ou éthylène PR					
lettre de sélection	B	PVC3	PVC2		PR3		PR2			
	C		PVC3		PVC2	PR3		PR2		
	E			PVC3		PVC2	PR3		PR2	
	F				PVC3		PVC2	PR3		PR2
section cuivre (mm ²)	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
	300		464	497	530	576	621	693	741	783
	400					656	754	825		940
500					749	868	946		1 083	
630					855	1 005	1 088		1 254	
section aluminium (mm ²)	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	59	62	67	
	16	53	59	61	66	73	79	84	91	
	25	70	73	78	83	90	98	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	122	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	149	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	192	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	235	241	257	289
	120	186	197	212	226	245	273	280	300	337
	150		227	245	261	283	316	324	346	389
	185		259	280	298	323	363	371	397	447
	240		305	330	352	382	430	439	470	530
	300		351	381	406	440	497	508	543	613
	400					526	600	663		740
	500					610	694	770		856
630					711	806	899		996	